

**OPTIMIZACION DE LAS COMUNICACIONES PARA SUBESTACIONES
Y CENTRALES DE GENERACION APLICANDO WAVELET**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO

**TEMA:
OPTIMIZACION DE LAS COMUNICACIONES PARA SUBESTACIONES Y
CENTRALES DE GENERACION APLICANDO WAVELET**

**AUTOR:
DAVID ALEXANDER CÓRDOVA TORRES**

**DIRECTOR:
EDWIN MARCELO GARCIA TORRES**

Quito, Febrero de 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, David Alexander Córdova Torres autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 28 de Febrero del 2015

.....
David Alexander Córdova Torres

CC: 171850695-7

AUTOR

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos del informe de la monografía, así como el funcionamiento del –Optimización de las comunicaciones para subestaciones y centrales de generación aplicando Waveletl realizada por el Sr. David Alexander Córdova Torres, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 28 de Febrero del 2015

.....
Ing. EDWIN MARCELO GARCIA TORRES
DIRECTOR

DEDICATORIA

David Alexander Córdova Torres

Este proyecto es dedicado

A mis padres Dr. Cristóbal Córdova y Elvira Torres, que han estado siempre a mi lado dándome su apoyo, motivación y su amor, para que se haga realidad esta ilusión y poder lograr uno de los objetivos más importantes en mi vida; que sin su apoyo no lo hubiera podido lograr.

A mis hermanos Juan y Oswaldo que también se han esforzado para llegar a ser unos profesionales con éxito y que son un ejemplo muy digno a seguir.

A mi hermanita Náyelhi por brindarme su cariño y ternura que emocionalmente me ha hecho sentir esa alegría y armonía espiritual necesarios para poder trabajar en esta tarea. Y con gran amor a Dios y a la Virgen quienes me han iluminado y dado sus cuidados para culminar con éxito este proyecto.

Y a todas las personas que han contribuido en el desarrollo del mismo.

AGRADECIMIENTOS

David Alexander Córdova Torres
A la Universidad Politécnica Salesiana,
que me abrió sus puertas para realizarme como profesional
y en cuyas aulas no solo obtuve conocimiento intelectual,
sino también formación como una persona de bien.

A mi Director de Tesis
el Ingeniero Edwin Marcelo García Torres
que con su conocimiento, experiencia y paciencia
que me brindo durante el desarrollo de esta investigación.
A todos los compañeros de clase y amigos de la Universidad
que tuvimos que luchar para conseguir este objetivo.

INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA:.....	II
CERTIFICA:	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
INDICE GENERAL	VI
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE TABLAS	X
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XI
Resumen	1
Abstract.....	2
CAPÍTULO I.....	3
COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN UN SEP	3
1.1 Tipos de comunicación.....	3
1.1.1 PROFIBUS.....	3
1.1.2 Ethernet	5
1.1.3 AS-Interface	6
1.1.3.1 Componentes básicos del bus AS-i para sistemas de interconexión a nivel de procesos	7
1.1.4 DNP3.....	8
1.2 Jerarquía de las comunicaciones aplicadas a sistemas eléctricos de potencia	9
1.2.1 Nivel de gestión:.....	10
1.2.2 Nivel de célula:.....	10
1.2.3 Nivel de campo:	11
1.2.4 Nivel de Actuador/Sensor:	11
1.3 Topología del Sistema Nacional Interconectado.....	11
1.3.1 Centros de control asociados al SNI	14
1.3.2 Integración de centros de control.	15
1.3.4 Protocolos de Comunicación.....	16
1.4 Normas aplicadas a las comunicaciones	17
1.4.1 Organismos de normalización	17
1.4.1.1 Normas internacionales	18
1.4.1.2 Normas continentales	18
1.4.2 Normas que afectan a las comunicaciones	19
CAPÍTULO II.....	20

ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN	20
2.1 Monitoreo de sistemas eléctricos de potencia	20
2.1.1 Centro de control nacional.	21
2.1.1.1 Componentes del centro de control nacional.....	22
2.2 Datos generados en subestaciones.....	23
2.2.1 Posiciones de líneas.....	23
2.2.2 Barras.	24
2.2.3 Equipo de transformación: lado de alto voltaje.....	24
2.2.4. Equipo de transformación: lado de bajo voltaje.....	25
2.2.5 Capacitores y Reactores	26
2.3 Datos generados en Centrales de Generación	26
2.3.1 Generadores	26
2.3.2 Adicionales para plantas hidráulicas con embalse	27
2.3.2.1 Adicionales para las turbinas a gas.	27
2.3.2.2 Generadores que participen en AGC	27
2.3.2.3 Generadores que participen en AVR	28
2.3.2.4 Transformadores de generadores	28
2.3.2.4.1 Equipo de transformación: lado de alto voltaje.....	28
2.3.2.4.2 Equipo de transformación: lado de bajo voltaje.....	29
2.4 Sistemas de modelación de las comunicaciones	30
2.4.1 Modelo de Claude Elwood Shannon (1948).....	30
2.4.1.1 Los elementos del Modelo de Shannon y Weaver.	31
2.4.2 Modelo de DeFleur.....	32
2.4.3 Modelo de Gerbner (1956).....	32
3.1 Tipos de comunicaciones aplicadas en el SIN	34
3.1.1 Datos generales:	34
3.2 Matemática de las Wavelets	39
3.2.1 Historia de las Wavelet	39
3.2.2 Definición general de las Wavelets	39
3.2.3 Transformada Wavelet Continua (CWT)	42
3.2.3.1 Definición	42
3.2.4 Transformada Wavelet Discreta (DWT).....	43
3.2.5 Familia Wavelets	44
3.2.5.1 Wavelet DAUBECHIES	44

3.2.5.2	Wavelet SYMMLETS	45
3.2.5.3	Wavelet COIFLET.....	46
3.2.5.4	Wavelet MAYER.....	47
3.2.5.5	Wavelet GAUSSIANA	48
3.2.5.6	Wavelet SOMBRERO MEXICANO.....	49
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	49
3.2.5.7	Wavelet MORLET.....	50
3.2.5.8	Wavelet BIORTOGONALES.....	51
3.3	Compresión de la información para las comunicaciones	52
3.3.1.1	La compresión sin pérdida:	53
3.3.1.2	La compresión con pérdida:.....	54
3.4	Aplicar Wavelet para compresión de la información.....	54
3.4.2	Funciones del algoritmo computacional en Matlab para la Compresión.....	58
3.4.2.2	Filtrado y compresión.....	61
3.4.2.3	Datos de onda comprimida.....	62
3.4.3	Funciones del algoritmo computacional en Matlab para la Descompresión	62
3.4.3.1	Descomponer señal.....	62
3.4.3.2	Reconstrucción:	63
	CAPÍTULO IV	65
	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	65
4.1	Comparación con sistema actual de comunicaciones y el sistema optimizado.....	65
4.2	Comparación del porcentaje de compresión del sistema actual de comunicaciones y el sistema optimizado.....	65
4.3	Análisis técnico para la implementación de un sistema de optimización	68
4.4	Determinación de los tiempos de comunicación entre el sistema tradicional y el optimizado.....	69
	Conclusiones:	72
	Recomendaciones	74
	Referencias	75
	ANEXOS	78
	ANEXO A.....	79
	ANEXO B	96
	ANEXO C	98
	ANEXO D.....	100

INDICE DE FIGURAS

Figura1.1: Comunicación Industrial Profibus.	4
Figura1.2: Norma del Protocolo Ethernet.	6
Figura1.3: Componentes del Protocolo AS-i.....	7
Figura1.4: Sistema de comunicaciones SCADA-DNP3.0.....	9
Figura1.5: Pirámide de las comunicaciones	10
Figura1.6: Topología General Del Sistema de Adquisición de Datos de ARCONEL.....	13
Figura1.7: Sistema de gestión de energía con los protocolos de comunicaciones	17
Figura 2.1: Arquitectura Conceptual del centro de control nacional.....	23
Figura 2.3: Modelo DeFleur (Modificado).....	32
Figura 2.4: Modelo de Gerbner	33
Figura3.1: Arquitectura del Sistema de Adquisición de Datos	37
Figura3.2: Diagrama de Ubicación Geográfico de los servidores eLAN.....	38
Figura3.3: Transformada de Wavelets.....	41
Figura3.4: Wavelet Daubechies de orden N graficado en MATLAB	45
Figura3.5: Wavelet Symmlets de orden N graficado en MATLAB.....	46
Figura3.6: Wavelet Coiflet de orden N graficado en MATLAB.....	47
Figura 3.7: Wavelet Mayer graficado en MATLAB	48
Figura 3.8: Wavelet Gaussian de orden 1 graficado en MATLAB	49
Figura 3.9: Wavelet Sombrero Mexicano graficado en MATLAB.....	50
Figura 3.10: Wavelet Morlet graficado en MATLAB.....	51
Figura 3.11: Wavelet Biortogonales graficado en MATLAB	52
Figura 3.12: Los Pasos de la Compresión de una señal	56
Figura 3.13: La Valores obtenidos de planta de generación de un día.....	57
Figura3.14: Datos de funcionamiento de cuatro Generador.....	59
Figura 3.15: Datos de funcionamiento de tres generadores	59
Figura3.16: Datos de funcionamiento de dos generadores.....	60
Figura 3.17: Datos de funcionamiento de un Generador.....	60
Figura 3.18: Grafica de la onda original y onda comprimida con Wavelet db1.....	61
Figura 4.1: Señal Original	66
Figura 4.2: Graficas de las compresiones por db.....	67
Figura 4.3: String de Matlab en Laview	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Organismo como la norma o recomendación.....	19
Tabla 3.1: Características Wavelet DAUBECHIES	44
Tabla 3.2: Características Wavelet SYMMLETS	45
Tabla 3.3: Características Wavelet COIFLET.....	46
Tabla 3.4: Características Wavelet Meyer.....	47
Tabla 3.5: Características Wavelet GAUSSIANA	48
Tabla 3.6: Características Wavelet SOMBRERO MEXICANO.....	49
Tabla 3.7: Características Wavelet MORLET.....	50
Tabla 3.8: Características Wavelet BIORTOGONAL	51
Tabla 4.1: Porcentaje de Compresion.....	66
Tabla 4.2: Comparación de tiempos de transmisión.....	70

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad. (actual ARCONEL)
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
CELE	Corporación Eléctrica del Ecuador
EEQ	Empresa Eléctrica Quito
MATLAB	Laboratorio Matemático, programa computacional matemático
S.N.I.	Sistema Nacional Interconectado.
ABB	Asea Brown Boveri
ANSI	American National Standard Institution
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CCT	Centro de Control de Transmisión
CIM	CIM Modelo de Información Común
DNP	Protocolo de Red Distribuida
EPA	Enhanced Performance Architecture
GIS	Subestaciones Aisladas por Gas
ICCP	Protocolo para el Control Interno de Centros
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IED	Dispositivo Electrónico Inteligente
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
ISO	Organización de Estándares Internacionales
LAN	Red de Área Local
LRSE	Ley de Régimen del Sector Eléctrico
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MMS	Manufacturing Message Specification
V	Voltaje
NCC	Centro de Control
PC	Computador Personal
PISA	Interface de Proceso para Actuadores y Sensores
PLC	Power Line Carrier
PLC	Controlador Lógico Programable
PT	Transformador de Potencia

RIO	Interface de Entradas y Salidas Remota
RTU	Unidad Terminal Remota
S/E	Subestación
SAS	Sistema de Automatización de Subestaciones
SCADA	Sistema de Control y Adquisición de Datos
TCP/IP	Protocolo de Conexión de Transporte / Protocolo de Internet

Resumen

–Optimización de las Comunicaciones para Subestaciones y Centrales de Generación Aplicando Wavelet

David Alexander Córdova Torres

david.act1983@gmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen—El presente proyecto de tesis desarrolla un modelamiento que permita optimizar con las Transformadas Wavelet el envío de información obtenida en las centrales de generación o las subestaciones al centro de control ARCONEL, el modelo es programado en la herramienta informática MATLAB obteniendo una señal comprimida de la información; mejorando el envío de datos con la compresión y descompresión de la instantánea, ganando espacio y tiempo para el envío de mayor información.

Con la implementación de este modelamiento de optimización en las plantas de generación o subestaciones se puede llegar a tener una versión mejorada a las comunicaciones normales utilizadas en el sistema actual y mejorar los tiempos de envío de datos.

La aplicación de las transformadas de Wavelet, son un desarrollo relativamente reciente tanto en matemática pura como aplicada generando desarrollo a las comunicaciones.

Índice de Términos— Transformadas de Wavelet, comunicaciones, protocolos, compresión, Descompresión, onda unidimensional, Centro de generación, subestaciones, centro de control ARCONEL.

Abstract

-Optimizing Communications for Substations and Generating Plant Using Wavelet

David Alexander Córdova Torres

david.act1983@gmail.com

Salesian Polytechnic University

Abstract—The present thesis project develops modeling to optimize the Transformed Wavelet he sent information obtained in power plants or substations center ARCONEL control, the model is programmed in MATLAB software tool obtaining a compressed signal information; He sent improving data with compression and decompression of the snapshot, gaining space and time he sent for further information.

With the implementation of this optimization modeling generation plants or substations you can have an improved normal communications used in the current system and enhance the timing of sending data release.

Applying Wavelet transforms are a relatively recent development in both pure and applied mathematics generating communications development.

Index Terms— Wavelet Transforms, communications protocols, compression, decompression, dimensional wave generation Center, substations, ARCONEL central control.

CAPÍTULO I

COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN UN SEP

Las Comunicaciones Industriales es el conjunto de métodos, sistemas y herramientas que generan un intercambio de información entre varios componentes industriales, que son la base de la integración de los sistemas de automatización y control industrial al ser un medio de intercambios, de visibilidad y de flexibilidad para un proceso de automatización.[1]

Las redes de comunicación tienen una facilidad de administración de la información en la industria que nos ayudan a monitorear, supervisar y controlar los procesos. Las tecnologías de las redes digitales, evolucionan muy rápido y ofrecen herramientas de hardware y software para facilitar los datos de los sensores; esta información es enviada a los computadores del control y de los operarios para monitorear los procesos y tomar la decisiones en forma manual o ya programada anteriormente.[2]

1.1 Tipos de Comunicación

1.1.1 PROFIBUS

Con la idea de generar un bus de campo abierto y transparente que fuera válido para que diferentes fabricantes pudiesen unir en una misma red distintos dispositivos de automatización, nació Profibus. Su creación fue producida por diferentes empresas y algunas universidades y que finalmente derivó en la norma estándar EN 50170 e IEC 61158.

Profibus es uno de los buses con mayor implantación tanto a nivel europeo como mundial y ha sido desarrollado sobre la base del modelo ISO / OSI (International Standard Organization / Open System Interconnect) para servicio de comunicación de datos.[3]

Características de las redes PROFIBUS

- La misma topología, protocolo y estructura de red.
- Adaptación a diferentes baudrates, desde 9,6 Kbits/seg hasta 12 Mbits/seg, permiten adaptar la comunicación a cada requisito tecnológico.
- Enorme capacidad de procesamiento de diagnóstico.

- Adaptación a diferentes medios como fibra óptica (para largas distancias o ambientes con perturbaciones), cable de cobre en RS485 o para entornos Ex (con riesgos de explosión) donde se requiere enviar la energía por el mismo cable de señal.
- Reconfiguración online sin caída del maestro y reemplazo con energía.
- Independiente de marca: un componente de cualquier marca puede hablar con otro que adhiera al estándar PROFIBUS.[4]

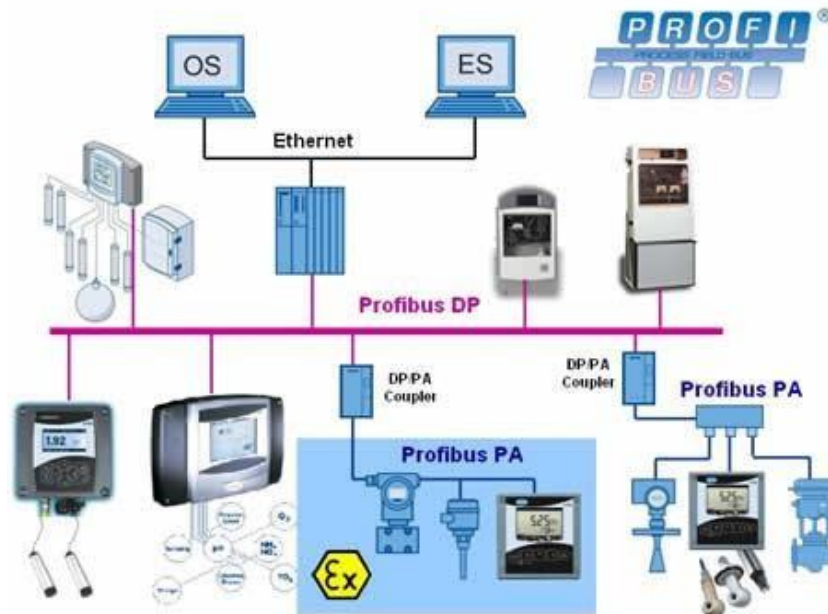


Figura1.1: Comunicación Industrial Profibus.

Fuente: –Que es PROFIBUS? [Online]. Available: <http://www.aprotedi.com/noticias1.php?codigo=N07>.

Existen tres perfiles distintos de Profibus:

- **Profibus FMS** (Fieldbus Message Specification): Su aplicación es en la transferencia de grandes volúmenes de datos entre diferentes dispositivos conectados en la misma red. En la actualidad, con el uso creciente de Ethernet y TCP/IP se va relegando a un segundo plano. El sistema está basado en la estructura Cliente-Servidor.[5]
- **Profibus DP** (Distributed Peripheral): Su aplicación está basada en el intercambio a gran velocidad de un volumen medio de información entre un controlador que hace de maestro, y diferentes controladores; Como son autómatas programables, módulos

de E/S, paneles de visualización, etc., que funcionan como dispositivos esclavos, distribuidos por el proceso y conectados a la misma red de comunicación.

- **Profibus PA** (Process Automation): Es un caso de Profibus DP, se ha diseñado para trabajar en los ámbitos de control de procesos, es decir en zonas denominadas -Exll de seguridad intrínseca.

1.1.2 Ethernet

Industrial Ethernet para las soluciones eficientes de automatización con Industrial Ethernet, se constituye a una red eléctrica sobre la base de una línea coaxial apantallada, un cableado Twisted Pair o una red óptica sobre la base de un conductor de fibras ópticas.

Las múltiples posibilidades de Intranet, Extranet e Internet que ya están disponibles actualmente en el ámbito de la oficina también se pueden aprovechar en la automatización manufacturera y de procesos.[6]

La tecnología Ethernet, con gran éxito desde hace muchos años, en combinación con *switching*, *full dúplex* y *autosensing*, ofrece al usuario la posibilidad de adaptar el rendimiento necesario en su red de forma precisa a sus exigencias. La velocidad de datos se puede elegir según las necesidades, porque la compatibilidad sin lagunas permite la introducción escalonada de la nueva tecnología. [7]

Características Ethernet

- Puesta en marcha rápida gracias a un sistema de conexionado extremadamente simple.
- Alta disponibilidad; las instalaciones existentes se pueden ampliar sin efectos negativos.
- Rendimiento de comunicación prácticamente ilimitado; si se necesita, se puede escalar el rendimiento aplicando tecnología de conmutación y elevadas velocidades de transferencia de datos.
- Interconexión de las áreas más diversas, como oficina y fabricación.
- Comunicación a escala corporativa gracias a la posibilidad de acoplamiento por WAN (Wide Area Network) como RDSI o Internet.
- Seguridad para las inversiones gracias a desarrollos y perfeccionamientos compatibles.

- Reserva de ancho de banda en LAN inalámbrica industrial (IWLAN).

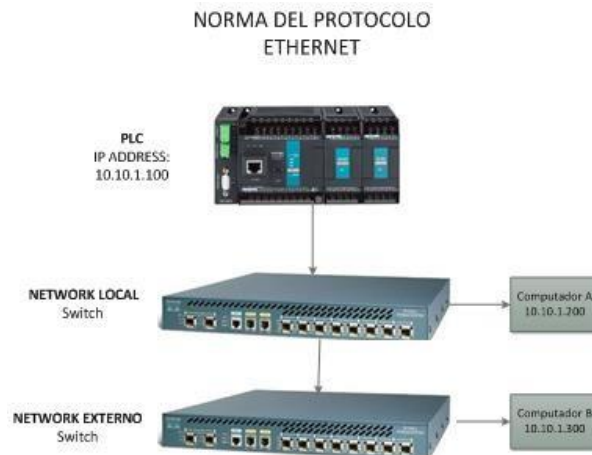


Figura1.2: Norma del Protocolo Ethernet.

Fuente: Autor

1.1.3 AS-Interface

El bus AS-i, es un sistema de enlace para el nivel más bajo –Nivel de Campo– para los procesos, en las instalaciones de automatización.

La variedad de cables que son utilizados en este nivel son cambiados por un único cable eléctrico, el cable AS-i. Por el cable AS-i y del maestro AS-i se acoplan sensores y actuadores binarios de la categoría más simple de las Unidades de control a través de módulos AS-i en el nivel.[1]

Nos permite unos tiempos muy reducidos de puesta en marcha e implementación, orientados a las comunicaciones de señales básicas de control y de monitorización del proceso.

Características de las bus AS-i

- AS-interface se está optimizado para las conexiones binarias, sensores analógicos y actuadores. El cable AS-i se utiliza tanto para el intercambio de datos entre el sensores / actuadores (esclavos AS-i) y el maestro AS-i, así como para el dar la energía a los sensores / actuadores.
- Flexible y rentable cableado: instalación sencilla para facilitar el cableado de la instalación.

- Los tiempos de reacción son rápidos: el maestro AS-i requiere un máximo de 5 ms para enviar y recibir datos cíclicos de intercambio con hasta 31 nodos.
- Nodos (esclavos AS-i) en el cable AS-i puede ser tanto sensores y actuadores con conector integrado AS-i o módulos AS-i a la que hasta cuatro convencional sensores binarios / actuadores se van conectar.
- Con estándares módulos AS-i, hasta 124 actuadores y sensores pueden funcionar con el cable AS-i.
- Al utiliza el módulos AS-i con espacio de direcciones extendido, hasta 248 actuadores y 248 sensores pueden funcionar con un maestro extendido.
- Longitud máxima de cable es de 100 m uniendo todos los tramos, o hasta 300 m con repetidores
- Transmisión por modulación de corriente que nos garantiza un alto grado de seguridad.

1.1.3.1 Componentes básicos del bus AS-i para sistemas de interconexión a nivel de procesos

Un bus AS-i se componen de 4 partes importantes

Componentes básicos del bus AS-i (I)

Los componentes básicos del bus son:

- El cable AS-i
- El esclavo AS-i
- El maestro AS-i
- La fuente de alimentación AS-i

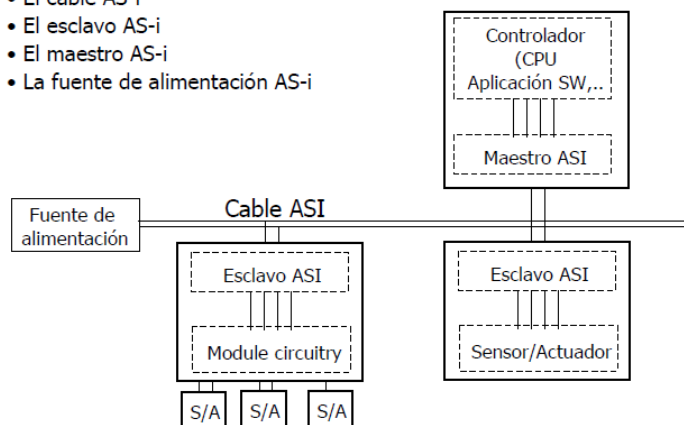


Figura1.3: Componentes del Protocolo AS-i.

Fuente: BUS AS-i Tecnologías de Control Introducción Ubicación en la jerarquía de la automatización

Ubicación en la jerarquía de la automatización

• Maestros AS-i

La CPU del autómatas programable por sí sola no es capaz de controlar una red AS-i, ya

que no dispone de la conexión correspondiente. Es, por tanto, necesaria la conexión de una tarjeta de ampliación conectada en el propio bastidor del autómata programable que realice las funciones de maestro de la red AS-i.[9],[8]

- **Esclavos AS-i**

Los esclavos AS-i, se pueden encontrar multitud de modelos diferentes en cuanto a formas, tipos y numero de entras/salidas, función, etc. y que puede ir desde un esclavo para entrada/salida estándar, hasta esclavos en forma de célula fotoeléctrica, pasando por arrancadores, balizas de señalización, botonera de pulsadores, Etc.

- **Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación estándar es de 24 VDC, el cual algunos sensores y actuadores necesitan para dar una mayor potencia a su funcionamiento.

- **Conectores y cables**

A los conectores, estos se utilizan cuando se quiere conectar un dispositivo estándar, ya sea sensor o actuador, a esclavos AS-I. Estos conectores están formados por una carcasa y cuatro conexiones. Estas conexiones pueden tener una finalidad diferente según el componente aplicado, sensor con dos hilos, o con tres hilos, sensor digital o analógico, etc.

1.1.4 DNP3

DNP3 (Distributed Network Protocol Version 3.3) es un estándar o un protocolo de telecomunicaciones que define la comunicación entre estaciones maestras, RTUs (unidades de telemetría remota), y otros dispositivos como IEDs (Intelligent Electronic Devices).

Es diseñado basándose en un modelo que incluye tres de las capas del modelo OSI (Open Systems Interconnections), denominado EPA (Enhanced Performance Architecture), las tres capas son: Capa de Aplicación, Capa de Enlace de Datos y Capa Física. Este modelo se basó en el comité técnico IEC (International Electrotechnical Commission) TC57.

DNP3.0 es muy eficiente por ser un protocolo de capas, ya que asegura alta integridad de datos. Desde su creación para la industria eléctrica en América, DNP3.0 ha ganado una importante aceptación en términos geográficos e industriales. DNP3.0 es soportado por un gran número de fabricantes y usuarios en industrias de Norte

América, Sudamérica, Sudáfrica, Asia y Australia. En Europa DNP3.0 compite con el protocolo IEC 870-5-101 el cual es usado ampliamente en esa región, y comparte un origen común.

Características de DNP3

- Los mensajes se separan en varios tramos para proporcionar un control óptimo de error secuencias de comunicación rápida.
- Permite la topología de igual a igual, así como maestro-esclavo
- Permite topología de múltiples maestros.
- Permite proporcionar objetos definidos por el usuario
- Proporciona sólo respuestas 'cambiado de datos'
- Abarca desde hace más de 65 000 dispositivos en un solo enlace y proporciona la sincronización de tiempo y los eventos fechados

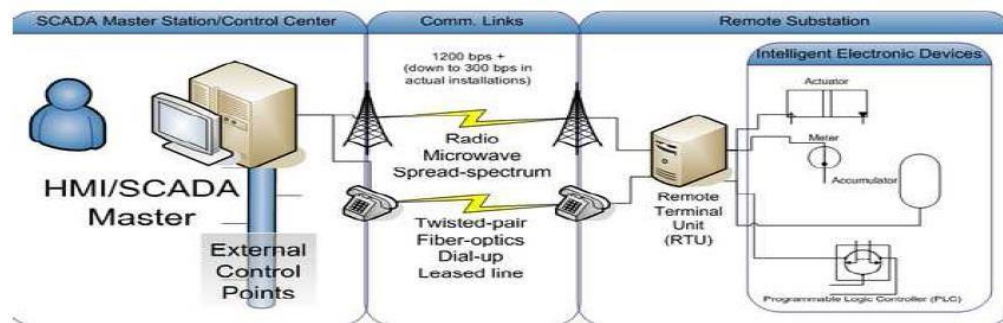


Figura1.4: Sistema de comunicaciones SCADA-DNP3.0

Fuente: Protocolos y Esquemas de Comunicaciones a Considerarse Para el Sistema de Telecomunicaciones de la Línea de Transmisión en 60 KV y Subestaciones de La Viña, Motupe y Pampa Pañalá | tipengineer.com

1.2 Jerarquía de las comunicaciones aplicadas a sistemas eléctricos de potencia

La implantación del computador en el área de la automatización ha sido posible a la versatilidad que este presenta en la descentralización y enlace de los distintos órganos de control del proceso.

La estructura de la pirámide de la automatización, CIM (Computer Integrated Manufacturing), se resume en la pirámide de los sistemas de comunicación en un SEP.

Se divide en niveles jerárquicos, de acuerdo con el tráfico y el tipo de información que se intercambia en el proceso.

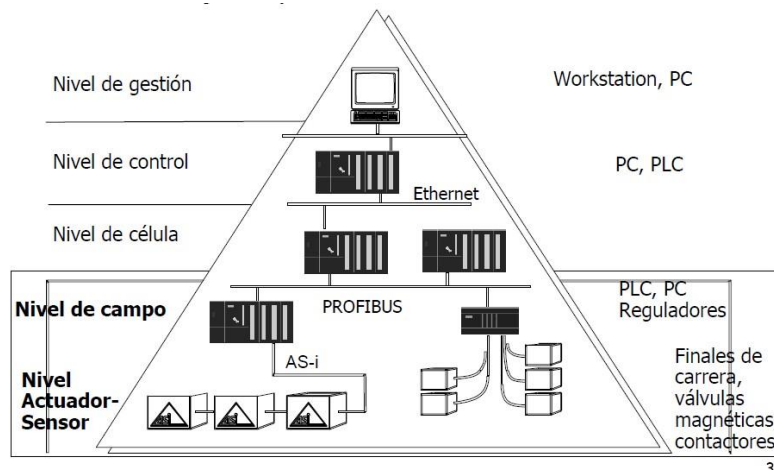


Figura1.5: Pirámide de las comunicaciones

Fuente: BUS AS-i Tecnologías de Control Introducción Ubicación en la jerarquía de la automatización
Ubicación en la jerarquía de la automatización

Al final, no se puede cerrar un nivel con los componentes que se van a incluir en cada uno de ellos, dejando abierta la posibilidad para una nueva incorporación a futuro, destacando que este modo es abierto y flexible.[10]

1.2.1 Nivel de gestión:

Procesa tareas de tipo corporativo, que implica generalmente una gran cantidad de información en el área de administración. Se puede tener acceso a todos los puntos de la red para recoger datos de un proceso y transmitir nuevas órdenes de producción el cual puede haber varios de puestos de trabajo o estaciones.

Los equipos que aparecen aquí son Ordenadores personales (PC), mini computadores y grandes equipos de información. Desde aquí se accede al exterior mediante redes de area amplia.

1.2.2 Nivel de célula:

Es en donde se procesan las tareas de automatización. En esta área es donde aparecen los Autómatas, PC_s y equipos de visualización. La transferencia de esta información es considerable con el aumento del tamaño de los paquetes de información y el tiempo de transito necesario para la transmisión de los datos, ya que no es tan importante la rapidez sino la seguridad del envío.

1.2.3 Nivel de campo:

Se realiza la unión entre las Instalaciones y los equipos que las controlan el cual nos permite las comunicaciones entre los equipos de control de las maquinarias y los equipos del nivel de célula.

La periferia está distribuida en planta, compuesta por módulos de Entradas/Salidas, medidores, sistemas de control de velocidad, válvulas o pantallas de Operador, utiliza técnicas de transmisión muy eficientes, capaces de trabajar en tiempo real.

Las redes de bus de campo (niveles superiores) incorporan la Capa de Aplicación, que permite implementar las rutinas de control en el elemento situado en planta o en el controlador y además nos proporcionan la seguridad para los elementos utilizados en zonas peligrosas.

1.2.4 Nivel de Actuador/Sensor:

En la aplicación automatizada tenemos variedad de elementos que requieren uno o algunos bits de información de entrada o de salida para trabajar como pulsadores, selectores, sensores y pilotos. En esta característica es la que define el nivel Actuador/Sensor con pocos bits dentro del sistema automatizado.

Siendo el nivel más bajo se transmite cantidades reducidas de información con pocos bits a una gran velocidad.

Las interfaces utilizan técnicas de instalación sencillas y de bajo costo, haciendo servir el mismo medio para alimentar a los elementos de campo y para transmitir la información mediante comunicaciones cíclicas.

1.3 Topología del Sistema Nacional Interconectado

El sistema de adquisición de datos del ARCONEL utiliza dos sistemas de comunicaciones, el primero es el sistema PLC que se encarga principalmente de la comunicación desde las centrales de generación y subestaciones hasta los servidores eLAN y el sistema de fibra óptica que permite la comunicación desde los servidores eLAN hasta el sistema central Network Manager.

El uso de ambos sistemas de comunicaciones (PLC y Fibra Óptica) se puede observar en la figura 1.5, en donde se tiene las generadoras y subestaciones que envían la información

hasta los servidores eLAN utilizando en su gran mayoría el sistema PLC.

La fibra óptica, próxima a ser culminada, se tiende sobre el sistema de alta tensión de 230 KV compartiendo la misma ruta física de transmisión de PLC como se puede observar en la figura 1.5.

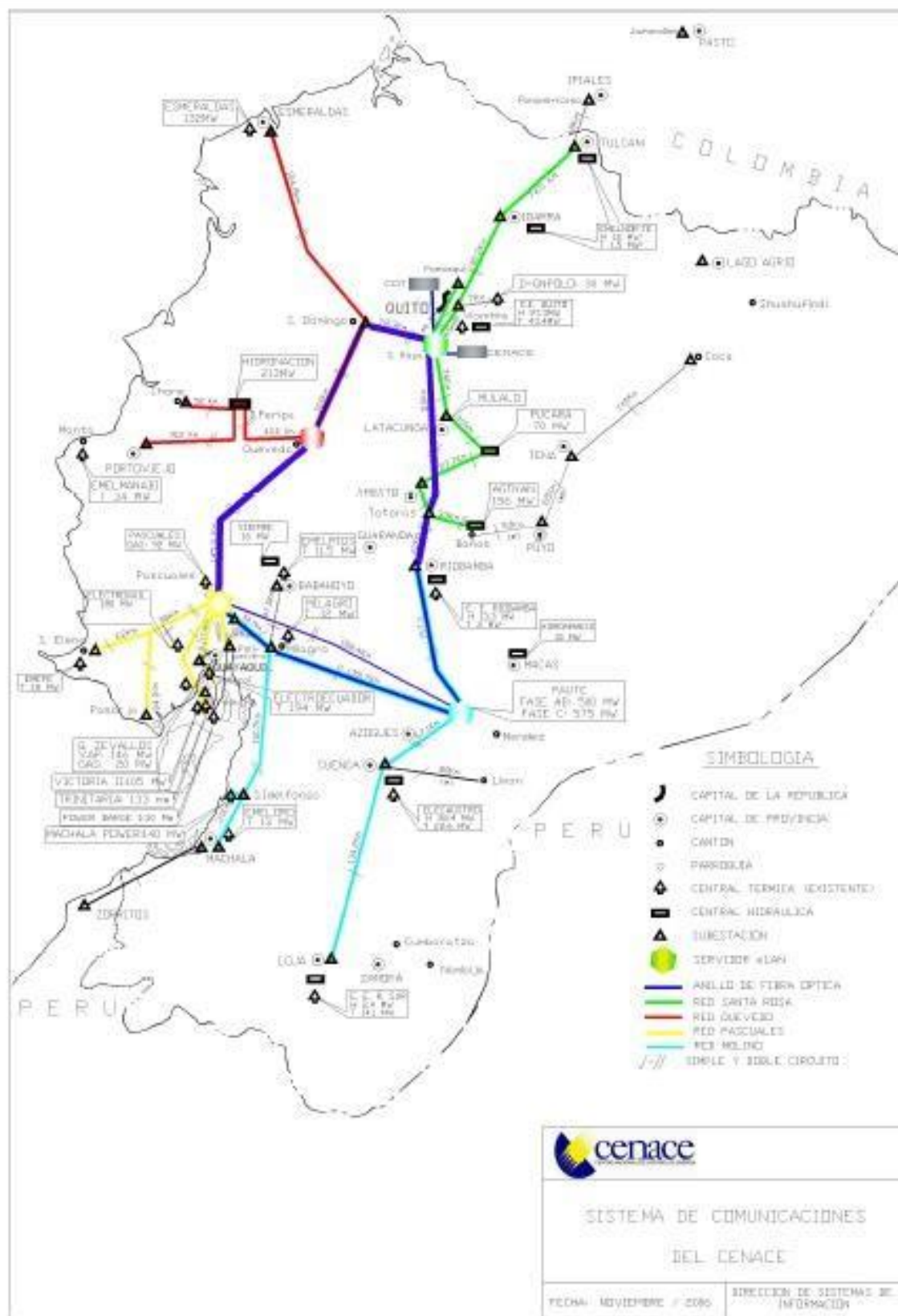


Figura1.6: Topología General Del Sistema de Adquisición de Datos de ARCONEL

1.3.1 Centros de control asociados al SNI.

- El centro del control nacional es responsabilidad del ARCONEL que es el encargado de supervisar y controlar la operación en tiempo real de las instalaciones de generación, transmisión y distribución y coordinar la función operativa a nivel nacional y los intercambios internacionales.
- El centro de control de transmisión está asignado al transmisor y es el encargado de la operación de las instalaciones del Sistema Nacional de Transmisión en coordinación con el centro de control de ARCONEL.
- Los centros de control de generación se encargarán de optimizar la generación de sus unidades y cumplir con el despacho económico determinado por el ARCONEL y ciertas centrales de generación con la capacidad de realizar regulación secundaria ejecutarán los comandos de consigna de potencia enviadas desde el centro de control de ARCONEL.
- Los centros de control de distribución están asignados a las empresas de distribución y son las encargadas de operar las instalaciones de sus sistemas de distribución, manteniendo la coordinación necesaria con el centro de control de ARCONEL.

De esta manera, dentro de esta estructura jerárquica, cada nivel es atendido por su responsable y la operación de la globalidad del sistema eléctrico es más segura ya que en cada nivel, se debe optimizar los requerimientos de calidad y economía del área respectiva bajo la coordinación nacional del ARCONEL.

Cabe anotarse, además, que el nivel de coordinación exigido en este esquema es más exigente y requiere de lineamientos precisos, con límites y responsabilidades muy bien definidos.

1.3.2 Integración de centros de control.

En cuanto a la integración entre Centros de Control debe considerarse que:

- Para la supervisión y control de las interconexiones internacionales deben tener un intercambio de información en tiempo real (mediante ICCP) entre los centros de control nacionales, es decir entre el centro de control del ARCONEL con los centros de control de los países con los cuales se realizan transacciones internacionales de electricidad.
- El centro de control del Transmisor debe intercambiar información en tiempo real con el centro de control nacional ARCONEL y a su vez, dependiendo de sus características, puede realizar funciones de respaldo del centro de control nacional bajo condiciones de emergencia.
- Cada uno de los centros de control de la cadena Jerárquica descrita previamente, deben tener la capacidad de suministrar la información necesaria y suficiente al centro de control del ARCONEL, cumpliendo los requerimientos indicados en la presente Regulación.
- El centro de control de generación que realice AGC y adicionalmente fuere asignado para realizar la función de –Control Automático de Generación –AGC- de respaldo del ARCONEL bajo condiciones de emergencia, deberá tener la funcionalidad de poder intercambiar información con el centro de control del ARCONEL (mediante ICCP) y la infraestructura tecnológica que le permita cumplir con esta funcionalidad.
-
- La jerarquía de los centros de control deberá ser armónica con la Jerarquía Operativa definida.

1.3.4 Protocolos de Comunicación.

Los equipos de adquisición de datos de los Agentes del MEM y el Transmisor podrán utilizar los siguientes protocolos, los mismos que están basados en estándares internacionales:

- Protocolo IEC-870-5-101 serial.
- Protocolo IEC-61850
- Protocolo DNP 3.0 serial.
- Protocolo ICCP.
- RP570 Serial.

El protocolo ICCP será también utilizado por el ARCONEL para intercambiar información con los otros centros de control implementados por los Agentes del MEM y/o el Transmisor, así como también con los centros de control de sistemas con los cuales se tengan transacciones internacionales de electricidad.

Los agentes deben adaptarse a los protocolos existentes en el sistema EMS de ARCONEL, y, en caso de que a futuro se produzca una modernización del centro de control, los nuevos protocolos que se implementen serán obligatorios para los nuevos Agentes que se incorporen al sistema, a posteriori del proceso de modernización.

Para las instalaciones existentes, y para el caso de nuevos Agentes que así lo deseen, podrán también utilizar el protocolo RP570 serial, implementado en el centro de control del ARCONEL previo al presente proceso de modernización.

En caso de que un Agente del MEM o el Transmisor disponga de equipos con otros protocolos de comunicación, diferentes a los antes mencionados, deberá adquirir, a su costo, el convertidor correspondiente para adecuar sus señales a los protocolos estandarizados en el sistema de tiempo real del ARCONEL.

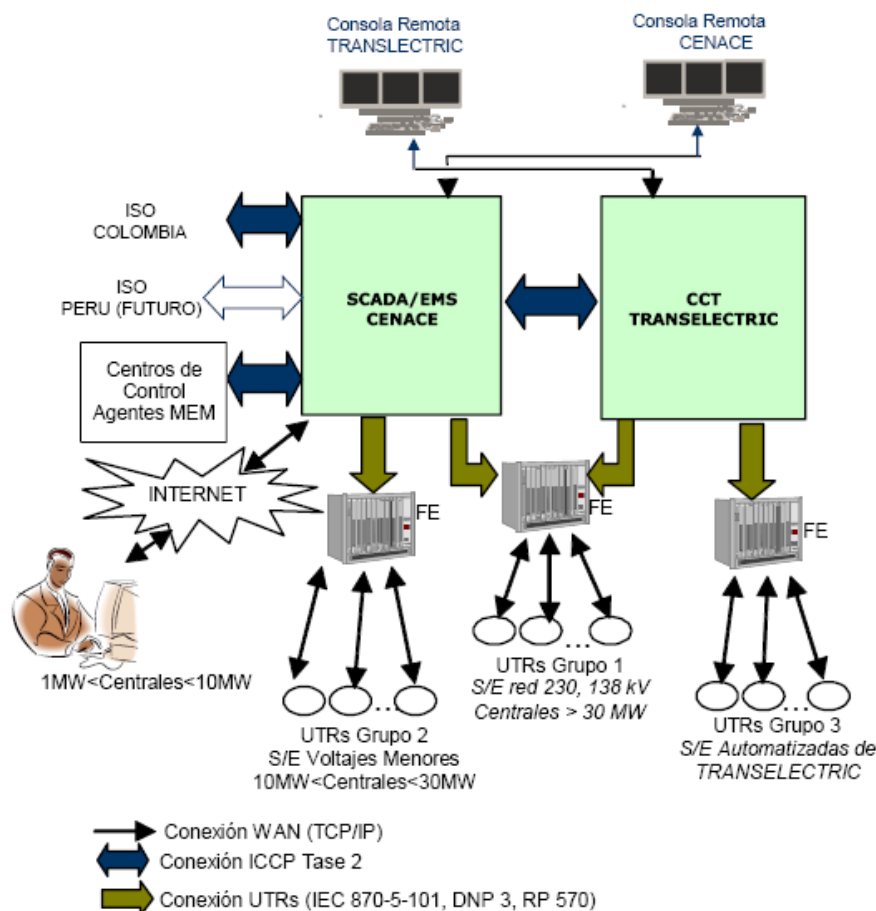


Figura1.7: Sistema de gestión de energía con los protocolos de comunicaciones

Fuente: –Requerimientos que deben cumplirlos Agentes del MEM y el Transmisor||

1.4 Normas aplicadas a las comunicaciones

Cabe destacar que con la llegada de las normas todos los fabricantes han ido adaptando sus sistemas al cumplimiento de éstas, por lo cual cada día más los equipos de diferentes fabricantes son más compatibles entre sí, aunque existen multitud de normas y estándares no todas han nacido de una institución normalizadora como son las llamadas normas de facto, que son:

Sistemas realizados por grandes empresas (multinacionales) generalmente, y que de una forma u otra acaban de imponerse en el mercado. Se generan solas y acaban aceptándose.

1.4.1 Organismos de normalización

Existen diferentes organismos cuyas normas afectan a diferentes ámbitos geográficos, es

decir, normas que rigen a nivel mundial, a nivel continental o a nivel nacional.

1.4.1.1 Normas internacionales

Son normas que afectan a nivel mundial

- ISO (International Standards Organization), que genera normas para todas las áreas y coordina las creadas por organizaciones regionales.
- IEC (International Electrotechnical Commission). Elabora normas para el área eléctrica.
- ITU o UIT (International Telecommunication Union). Es un organismo constituido por administraciones de más de 150 países, adopta normas que regulan el uso del espectro radioeléctrico en los ámbitos espacial y terrestre. Está estructurada en tres sectores, que son:
 - ITU—T para las telecomunicaciones.
 - ITU-R para la radiocomunicación.
 - ITU-D para el desarrollo de las telecomunicaciones.

1.4.1.2 Normas continentales

Quedan agrupadas en un determinado número de organismos nacionales de normalización y que a nivel europeo son:

- CEN (Comité Européen de Normalisation), es el encargado de generar todas las normas del tipo EN que son a nivel europeo.
- CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), es la rama de las CEN que se encarga de las normas del ámbito electrotécnico.
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Organización europea creada a Instancia de los operadores (PTT Post Telephone and Telegraph) y lo que hoy es la Unión Europea.
- A nivel de Estados Unidos, las que afectan al campo de las comunicaciones son:
- ANSI (American National Standards Institute). Instituto americano de normas estándar que abarca todas las disciplinas.
- EIA (Electronics Industries Associate). Asociación de industrias del sector de la electrónica, que se ocupa de la definición de estándares acerca de la transmisión de señales eléctricas. El estándar más conocido es la RS-232.

- IEEE 0 IE3 (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Es una organización profesional que ha elaborado importantes recomendaciones relativas a las comunicaciones industriales y redes de comunicación que han terminado por convertirse en normas de facto.

1.4.2 Normas que afectan a las comunicaciones

En la siguiente tabla se muestran tanto el organismo como la norma o recomendación que la contempla:

Tabla 1.1: Organismo como la norma o recomendación

Organismo	Norma/Recomendación	Contenido
EIA	RS-232C	Norma física RS-232 de comunicación serie.
EIA/TIA	RS-422	Norma física RS-485 de comunicación serie
EIA	RS-485	Norma física RS-485 de comunicación serie.
EIA/TIA	568	Cableado estructurado de redes de datos.
IEEE	802	Redes de área local (LAN).
IEEE	802.3	Métodos de acceso al medio en redes Ethernet.
IEEE	1284	Norma sobre las comunicaciones en paralelo.
UIT	V.92	Normas sobre los módems de 56 kbps.
AENOR	UNE-EN 50173	Cableado de sistemas de información.
AENOR	UNE-EN 50174	Redes de cableado estructurado.
CENELEC	EN 50170	Buses de campo industriales de propósito general.
CENELEC	EN 61131-5	Comunicaciones en los autómatas programables.
CENELEC	EN 61158-2	Vía de datos en los sistemas de control industriales.
IEC	IEC 61158	Buses de campo industriales.

Fuente: Autor

CAPÍTULO II ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

El Sistema denominado SADHIS (Sistema de Adquisición de Datos en el Histórico), e actualmente cumple con estos objetivos y utiliza las potencialidades del PI, se desarrolló con el fin de reemplazar al sistema SADYR (Sistema de Adquisición y Registro de información), garantizando que tanto la información supervisada por el sistema SCADA así como la no supervisada, este disponible para la operación en tiempo cuasi real y disponible para realizar cualquier tipo de procesamiento de información post operativa.

Las interfaces de ingreso y procesamiento de información que maneja los diferentes Módulos de la Aplicación SADHIS están desarrollados mediante programación avanzada de Visual Basic for Applications de Microsoft ®, sobre Microsoft Excel.

2.1 Monitoreo de sistemas eléctricos de potencia

Las comunicaciones industriales actualmente se dice que las redes de computadores que deben de ser capaces para transmitir datos de un dispositivo a otro con un alto grado de precisión y a tiempo real. Para varias aplicaciones industriales, los sistemas de comunicación tienen que garantizar niveles aceptables de confiabilidad aun cuando sea el sistema de potencia opere en condiciones extremas y que los datos enviados son iguales a los recibidos en un tiempo mínimo o real.

Lo cual se está recurriendo a la actualización de nuevas tecnologías en el área de monitoreo y comunicaciones para asegurar una operación confiable del sistema.[11]

Los principios que debe tener el Monitoreo de sistemas eléctricos de potencia son:[12]

- **Utilidad:** Responder las interrogantes de los usuarios y ser alimentado por ellos mismos (feedback).
- **Objetividad:** Tener todos los indicadores claros, exactos, auto contenidos (completos) e imparciales.
- **Integridad:** Tener todos los datos deben ser consistentes respecto a sus atributos y se deben documentar las fuentes.

- **Transparencia:** Los errores de consistencia deben estar disponibles mediante alarmas automáticas.

2.1.1 Centro de control nacional.

El ARCONEL coordina y supervisa las operaciones del SNI a través del centro de control SCADA/EMS, responsabilizándose de una operación segura, con calidad y economía, por lo que es garantizar que el sistema en tiempo real cumpla con altos niveles de disponibilidad, desempeño, flexibilidad y confiabilidad, satisfaciendo los requerimientos actuales y futuros de operación de los Agentes del MEM, el Transmisor y el ARCONEL.

El centro de control nacional debe funcionar con altos índices de disponibilidad, las 24 horas del día, los 7 días a la semana, además de que debe disponer de una base de datos actualizada en tiempo real con la información proporcionada por los Agentes y el Transmisor, según los requerimientos establecidos en la presente Regulación.

El centro de control nacional incluye aplicaciones de última generación y satisface los requerimientos técnicos de los procesos de supervisión y control del SNI.

Los datos teledados serán recolectados desde las siguientes fuentes:

- **Las Unidades Terminales Remotas (UTRs)**, Gateways o cualquier otro Equipo de Adquisición de Datos, localizados en el S.N.I, los mismos que se interconectarán a uno de los concentradores de datos (eLANs) o RDAS disponibles para el sistema EMS de ARCONEL.
- **Los sistemas SCADA de subestaciones y centrales de generación** localizadas en el SNI. La conexión al sistema EMS de ARCONEL será mediante los concentradores de datos (eLANs) o bien de ser aplicable y conveniente según un análisis previo de ARCONEL, utilizando una conexión ICCP.

- **Centros de Control del Transmisor**, agentes del MEM u otros Países. El intercambio de información entre Centros de Control puede utilizar el protocolo ICCP para conexión computador – computador.

2.1.1.1 Componentes del centro de control nacional.

El sistema SCADA/EMS instalado en el ARCONEL, está formado por los siguientes componentes principales, con sus funciones más importantes:

a. Sistema de Control de Energía (ECS)

- Funciones de Adquisición de Datos (SCADA)
- Funciones de Análisis de Red
- Funciones de Producción de la Generación (AGC)
-

b. Sistema de Almacenamiento y Recuperación de Datos

- Almacenamiento Histórico
- Herramientas de Análisis de Datos y Reportes
- Servicios de Información al MEM

c. Sistema de Desarrollo (PDS)

- Generación de Bases de Datos y Despliegues
- Mantenimiento y desarrollo de Aplicaciones

d. Simulador de Entrenamiento (DTS)

- Simulaciones y entrenamiento de Nuevos Operadores

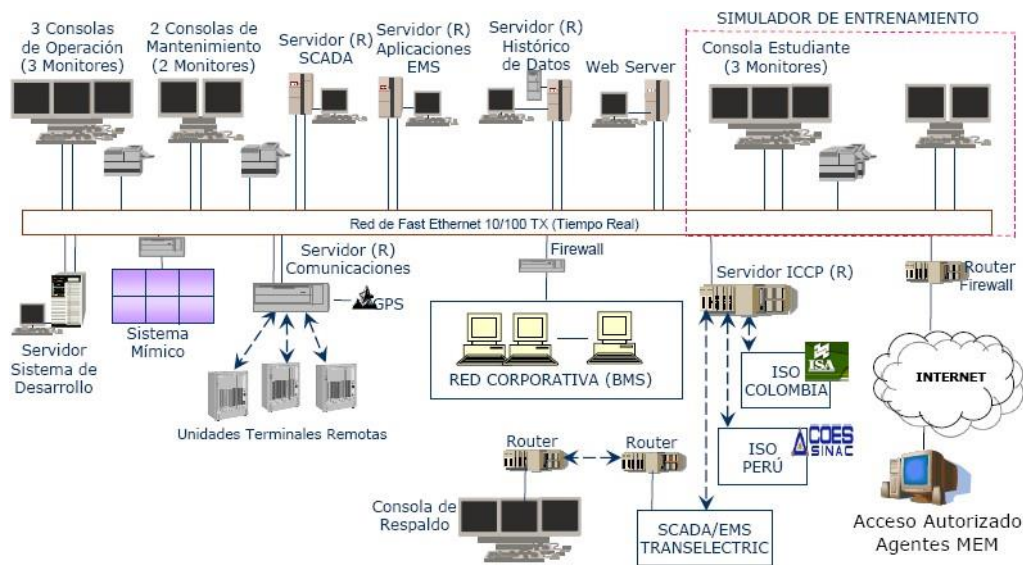


Figura 2.1: Arquitectura Conceptual del centro de control nacional

Fuente: –Requerimientos que deben cumplirlos Agentes del MEM y el Transmisor||

2.2 Datos generados en subestaciones

Las señales requeridas para realizar la función de supervisión y control del SNI desde el ARCONEL, se obtendrán de los sistemas de adquisición de datos instalados en el sistema.

Un listado general de las posiciones típicas modeladas en el Sistema de Tiempo Real del ARCONEL es el siguiente:[13]

- Líneas de transmisión.
- Barras de las subestaciones.
- Transformadores y Autotransformadores.
- Capacitores y Reactores.
- Unidades y Centrales de Generación.
- Transformadores de unidades de Generación.

En cada posición se deben considerar los equipos de maniobra asociados como es el caso de interruptores y seccionadores.

2.2.1 Posiciones de líneas

- Estado de interruptores.
- Estado de los seccionadores.

- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor.
- Alarmas:
 - Operación de relé de recierre.
 - Operación del relé de distancia.
 - Falla del interruptor.
 - Operación del relé de sobrecorriente donde sea aplicable
- Comando del interruptor.
- Mediciones de MW y MVAR.
- Mediciones de MWh y MVARh (bidireccional), para el caso de posiciones de carga y de generación

2.2.2 Barras.

- Estado del interruptor de enlace o transferencia u otros asociados a las barras.
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor asociado a las barras.
- Alarmas:
 - Falla de barras
 - Falla del interruptor
 - Disparo por sobre – voltaje de barras.
- Comando del interruptor
- Medición de voltaje de barras
- Medición de frecuencia donde sea aplicable

2.2.3 Equipo de transformación: lado de alto voltaje

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Si existe LTC en alto voltaje:
 - Estado de manija manual/automático del LTC
 - Estado del modo de regulación manual/automático del LTC desde el ARCONEL

- Estado de la manija local/remoto para control del LTC
- Alarmas:
 - Sobretemperatura del transformador
 - Relé Buchholz
 - Protección diferencial o protección principal.
 - Protección de respaldo (distancia, sobrecorriente de fases y neutro)
 - Falla del interruptor
- Comando del interruptor
- Comando del LTC subir/bajar Voltaje(si existiera LTC en el lado de alto voltaje)
- Mediciones de MW y MVAR
- Posición del tap (pasos del LTC si existiera en alto voltaje)
- Medición de la temperatura del aceite

2.2.4. Equipo de transformación: lado de bajo voltaje

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Estado de manija manual/automático del LTC
- Estado del modo de regulación manual/automático del LTC desde el ARCONEL
- Estado de la manija local/remoto para control del LTC
- Alarmas:
 - Falla del interruptor
 - Protección (sobrecorriente de fases o neutro)
- Comando del interruptor
- Comando del LTC subir/bajar Voltaje(si existiera LTC en el lado de bajo voltaje)
- Mediciones de MW y MVAR
- Medición del estado de la posición del tap (pasos del LTC)
- Mediciones de MWh y MVARh (bidireccional)

Para el caso de transformadores en paralelo, y que tengan LTC en paralelo, se agregarán las siguientes indicaciones:

- Transformador 1 (T1) - Transformador 2 (T2) en paralelo
- Maestro T1
- Automático T1
- LTC T1-T2 en paralelo
- LTC T1 listo para controlar
- T1 en operación individual

2.2.5 Capacitores y Reactores

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Alarmas:
 - Operación de las protecciones del Capacitor o Reactor
- Comando del interruptor
- Medición de MVAR del Capacitor o Reactor

2.3 Datos generados en Centrales de Generación

2.3.1 Generadores

- Estado del interruptor del generador
- Estado de los seccionadores
- Alarmas :
 - Disparo protecciones principales.
 - Disparo protección de respaldo.
 - Parada del generador por protecciones eléctricas
 - Parada del generador por protecciones mecánicas
 - Parada parcial del generador.
 - Parada del generador por operación manual
 - Disparo por pérdida de servicios auxiliares.
- Mediciones de V, MW y MVAR del generador

- Mediciones de MW y MVAR de auxiliares en caso de Térmicas
- Mediciones de MWh y MVARh del generador
- Medición del limitador de carga
- Medición de nivel de presa
- Medición de los caudales de ingreso, para el caso de centrales hidráulicas.
- Medición de niveles de tanques de combustible
- Medición de caudal de flujo, presión y temperatura de combustible

2.3.2 Adicionales para plantas hidráulicas con embalse

Las empresas de generación, propietarias de plantas hidráulicas deben instalar para cada embalse el equipo necesario que facilite la medición de:

- Nivel del embalse en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).
- El caudal, promedio de aportes al embalse expresados en metros cúbicos por segundo (m^3/Seg).

2.3.2.1 Adicionales para las turbinas a gas.

- Indicaciones:
 - Modos de operación (generador/compensador)
 - Carga base/carga pico

2.3.2.2 Generadores que participen en AGC

Para los generadores cuyas unidades participen en el Control Automático de Generación (AGC), de manera individual o por planta, se requieren las siguientes señales adicionales:

- Indicaciones de límite máximo y mínimo del controlador de velocidad (Potencia activa).
- Estado de la manija local/remoto para permisivo de los pulsos o valores de consigna SPC (Set point controller) de potencia activa.
- Comando para subir/bajar potencia activa o enviar valores de consigna SPC (Set point controller) de potencia activa

2.3.2.3 Generadores que participen en AVR

Para los generadores cuyas unidades participen en la Regulación Automática de Voltaje (AVR), de manera individual o por planta, por voltaje o potencia reactiva , se requieren las siguientes señales adicionales:

- Indicaciones de límite máximo y mínimo del regulador automático de voltaje (AVR) (Potencia reactiva).
- Estado de la manija local/remoto para permisivo de los pulsos o valores de consigna SPC de voltaje o potencia reactiva (Set point controller) de voltaje o potencia reactiva.
- Comando para subir/bajar potencia reactiva o voltaje o enviar valores de consigna SPC (Set point controller) de potencia reactiva o voltaje

2.3.2.4 Transformadores de generadores

2.3.2.4.1 Equipo de transformación: lado de alto voltaje

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Si existe LTC en alto voltaje:
 - Estado de manija manual/automático del LTC
 - Estado del modo de regulación manual/automático del LTC desde el ARCONEL
 - Estado de la manija local/remoto para control del LTC
- Alarmas:
 - Sobretemperatura del transformador
 - Relé Buchholz
 - Protección diferencial o protección principal.
 - Protección de respaldo (distancia, sobrecorriente de fases y neutro)
 - Falla del interruptor
- Comando del interruptor

- Comando del LTC subir/bajar Voltaje(si existiera LTC en el lado de alto voltaje)
- Mediciones de MW y MVAR
- Posición del tap (pasos del LTC si existiera en alto voltaje)
- Medición de la temperatura del aceite

2.3.2.4.2Equipo de transformación: lado de bajo voltaje

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Estado de manija manual/automático del LTC
- Estado del modo de regulación manual/automático del LTC desde el ARCONEL
- Estado de la manija local/remoto para control del LTC
- Alarmas:
 - Falla del interruptor
 - Protección (sobrecorriente de fases o neutro)
- Comando del interruptor
- Comando del LTC subir/bajar Voltaje(si existiera LTC en el lado de bajo voltaje)
- Mediciones de MW y MVAR
- Medición del estado de la posición del tap (pasos del LTC)
- Mediciones de MWh y MVARh (bidireccional)

Para el caso de transformadores en paralelo, y que tengan LTC en paralelo, se agregarán las siguientes indicaciones:

- Transformador 1 (T1) - Transformador 2 (T2) en paralelo
- Maestro T1
- Automático T1
- LTC T1-T2 en paralelo
- LTC T1 listo para controlar
- T1 en operación individual

2.4 Sistemas de modelación de las comunicaciones

Es la teoría relacionada con las leyes matemáticas que aplica la transmisión y el procesamiento de la información. Se define a la teoría de la información se ocupa de la medición de la información y de la representación de la misma y de la capacidad de los sistemas de comunicación para transmitir y procesar la información.

La codificación se refiere tanto a la transformación de voz o imagen en señales eléctricas o electromagnéticas, como al cifrado de mensajes para asegurar su privacidad.

Los más nombrados están a continuación:

2.4.1 Modelo de Claude Elwood Shannon (1948)

La propuesta de Claude Elwood Shannon (1948) fue investigada desde la Ingeniería de las Comunicaciones y es la fundadora de los que se conoce como –Teoría Matemática de la Comunicación o –Tería de la Información, en este planteamiento lo fundamental es la eficiencia de la trasmisión de mensajes y la idea de comunicación de la que se parte es la dicha por Warren Weaver como –los modos mediante los cuales un mecanismo afecta a otro mecanismoll.

Nace en la idea de las primeras investigaciones cibernéticas y ha influenciado a modelos posteriores al señalar elementos y procedimientos básicos de la comunicación.

La teoría de la información fue desarrollada inicialmente, en 1948, por el ingeniero electrónico estadounidense Claude E. Shannon, en su artículo, *A Mathematical Theory of Communication* (Teoría matemática de la comunicación). [14]

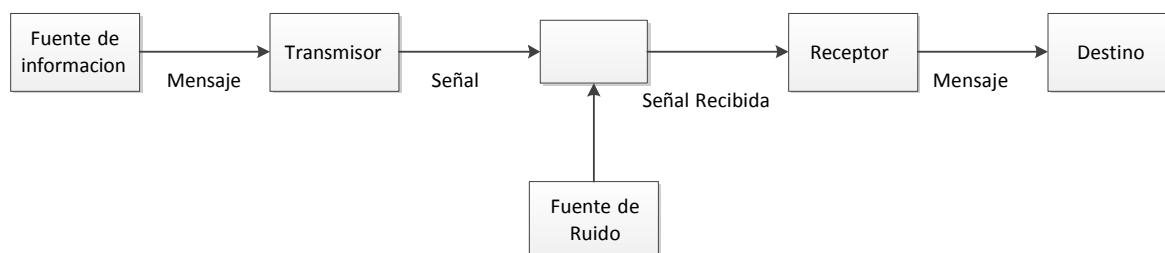


Figura 2.2: Modelo matemático de la comunicación de Claude Elwood Shannon, 1948

Fuente: Autor

Descripción del Modelo de Shannon y Weaver

Shannon y Weaver identifican tres niveles de problemas en el estudio de comunicación.

Estos son:

Nivel A (problemas técnicos)

¿Con qué precisión pueden los símbolos de transmitir la comunicación?

Nivel B (problemas semánticos)

Cómo hacer precisamente la transmisión símbolos transmiten el significado deseado?

Nivel C (problemas de efectividad)

¿Con qué eficacia no la recibió que significa afectar la conducta de la manera deseada?

2.4.1.1 Los elementos del Modelo de Shannon y Weaver.

Fuente de información: Es la que genera el mensaje o secuencia de mensajes al escoger los datos un conjunto en cual se desea transmitir. Cuando la fuente elige un dato, el dispositivo lo transmite y lo transforma la información o el mensaje en una forma conveniente para la transmisión por un medio en particular.

Mensaje: Es el dato o conjunto de datos a transmitir y se compone de un número específico de unidades de información seleccionadas.

Transmisor: Es el que codifica el mensaje en un sistema de señales adecuadas para ser transmitidas por un determinado canal encargado de transmitirlos.

Señal: Se la considera como un signo o un símbolo del sistema convencional de codificación

Fuente de ruido: Según el modelo es el canal en donde se tiene el mayor riesgo de que una fuente de ruido se origina. El ruido es la interferencia que puede distorsionar una señal modificando la forma del mensaje que se va a transmitir.

Receptor: Es la que recibe la señal y la convierte o la descomprime al código original del mensaje para que sea recibido por el destino.

Destino: Es a donde se va dirigido el mensaje.

Código: Es un conjunto simbólico de unidades limitadas en número, pero que puede producir infinitas estructuras.

Canal: Es el medio en el cual se traslada una señal desde el transmisor hasta el receptor.

2.4.2 Modelo de DeFleur

El modelo de DeFleur modifica y perfecciona el modelo de Shannon y Weaver agregando una serie de componentes al modelo con el objetivo de exponer la forma en que la fuente adquiere su retroalimentación, aumentando la posibilidad de una correspondencia entre el significado del mensaje generado y el mensaje recibido.

DeFleur aporta al método la recuperación de la comunicación como fenómeno humano, la comprensión de que el ruido afecta no sólo al medio técnico sino a todo el proceso de comunicación y la introducción del feedback

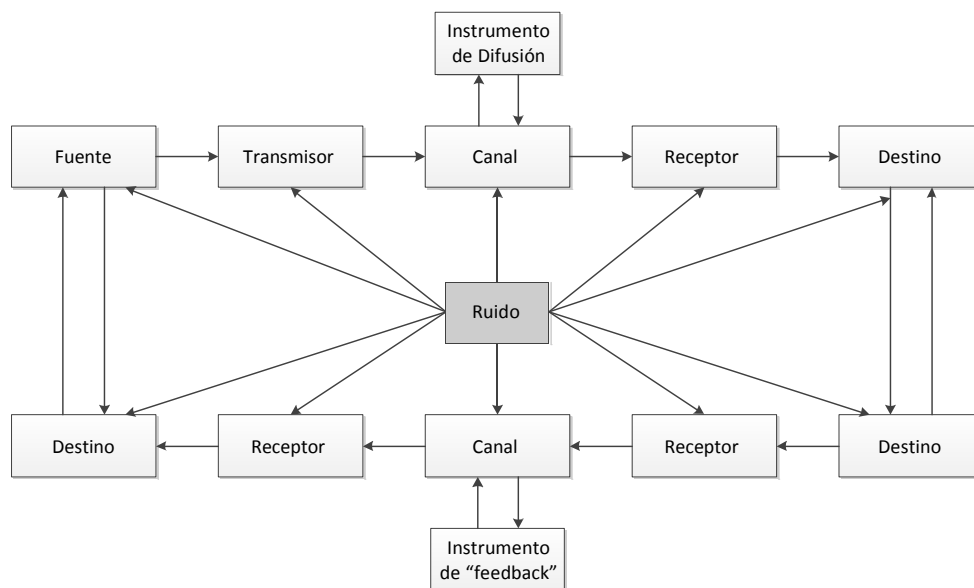


Figura 2.3: Modelo DeFleur (Modificado)

Fuente: Autor

2.4.3 Modelo de Gerbner (1956)

El modelo de Gerbner desea expresar todas las dinámicas de las comunicaciones posibles como interpersonal, grupal, masiva y otras en referencia a los dos elementos el productor de la información y el receptor, que hacen una transacción. Gerbner determina a la comunicación como una negociación o un intercambio, poniendo más atención a la fuente o emisor. Para este modelo los procesos de comunicación consisten fundamentalmente en lo

siguiente:

- «Alguien percibe algo (A) y reacciona, en una situación, a través de unos medios, con el fin de hacer disponibles unos materiales, con una cierta forma, y en un contexto, transmitiendo un contenido, con ciertas consecuencias»[15]»

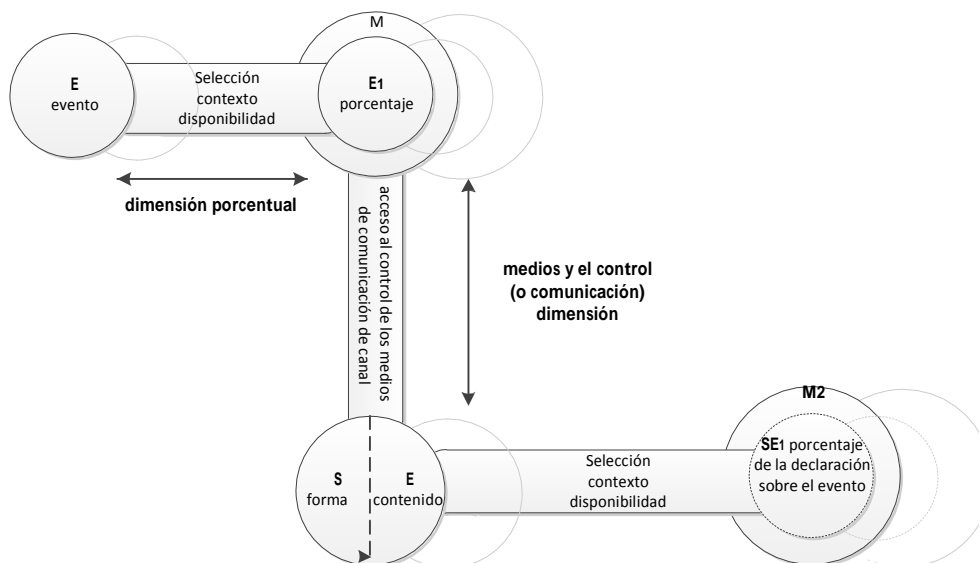


Figura 2.4: Modelo de Gerbner

Fuente: Autor

CAPÍTULO III OPTIMIZACIÓN DE LAS COMUNICACIONES

La optimización es compresión de datos de información la cual consiste en la reducción del volumen de información a transmitir. En principio, con la compresión se pretende transportar la misma información, pero empleando la menor cantidad de espacio.

El espacio que ocupa una información codificada (datos) sin compresión es el cociente entre la frecuencia de muestreo y la resolución. Por tanto, cuantos más bits se empleen mayor será el tamaño del archivo. No obstante, la resolución viene impuesta por el sistema digital con que se trabaja y no se puede alterar el número de bits a voluntad; por ello, se utiliza la compresión, para transmitir la misma cantidad de información que ocuparía una gran resolución en un número inferior de bits y un menor tiempo en la transmisión.

3.1 Tipos de comunicaciones aplicadas en el SIN

3.1.1 Datos generales:

ARCONEL es una institución del estado Ecuatoriano, con la cual se encarga de administrar con calidad y seguridad del funcionamiento técnico del Sistema Nacional Interconectado (SNI) e interconexiones internacionales; y la administración comercial del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), incluyendo las transacciones internacionales de electricidad.

Para cumplir con sus funciones, la Corporación realiza los siguientes procesos:

- Planificar la operación de energía eléctrica del SNI.
- Realizar el despacho económico.
- Coordinación y supervisión de la operación en Tiempo Real del SNI.
- Análisis las operaciones y preparar información para la liquidación comercial.
- Administrar y liquidar las transacciones comerciales del MEM.
- Administración de la cartera financiera del MEM.
- Realizar gestión estratégica y de control
- Administración del sistema informático de gestión y sistemas tecnológicos que soportan cada proceso

Todos estos procesos están distribuidos en varios departamentos, entre los cuales está la Dirección de Sistemas de Información (DSI), la misma que se encarga de la provisión y

administración de los diferentes sistemas tecnológicos requeridos por todos los procesos desarrollados en la Corporación, siendo uno de los más importantes el sistema EMS de manejo de energía de tiempo real.

Esta dirección se subdivide en tres áreas que son:

- Área de Informática
- Área de Sistemas de Tiempo Real
- Área de Medición Comercial

El área de Sistema de Tiempo Real tiene por misión administrar, mantener y expandir la infraestructura de los sistemas de control, telecomunicaciones y servicios tecnológicos del ARCONEL, para atender en forma eficiente y oportuna los requerimientos de información que demande el sector eléctrico. El ARCONEL en su proceso de mejoramiento continuo y con el afán de disponer de las mejores herramientas tecnológicas que le permitan cumplir con su misión, emprendió diversos proyectos para la actualización e implementación de sistemas tecnológicos de punta entre los que se encuentra el sistema para la administración de la energía eléctrica (Energy Managment System EMS) cuyo nombre comercial es -NETWORK MANAGER®, el que fue desarrollado e implementado por la empresa Asea Brown Boveri Inc. (ABB) de Estados Unidos de América. Este sistema permite la supervisión y control (actuación sobre el equipamiento) en base a los datos obtenidos de las Centrales de generación, las subestaciones de transmisión y subtransmisión de TRANSELECTRIC y los Agentes del Mercado y las interconexiones internacionales (con Colombia y próximamente con Perú) en tiempo real.

El sistema de adquisición de datos del ARCONEL consta de las siguientes partes fundamentales:

- Unidades Terminales Remotas (UTR) ubicadas en todas las subestaciones y centrales de generación que conforman el SNI y que son las encargadas de realizar la adquisición de información de estas instalaciones y/o ejecución de control desde/hacia el centro de control.
- Concentradores de datos eLAN ubicados en subestaciones estratégicas del anillo troncal de transmisión eléctrica como son Santa Rosa, Quevedo, Pascuales y próximamente en la subestación Molino. Los concentradores de datos son los encargados de recolectar la información de las diferentes UTRs y enviarla hacia los centros de control de ARCONEL y TRANSELECTRIC formando un anillo a nivel

nacional que está conformado por cuatro pares de estos servidores, estos equipos denominados Front End Remotos (eLAN) son suministro de la empresa canadiense BOW NETWORKS en cooperación con ABB.

- El sistema de comunicaciones para la adquisición de datos es híbrido y consta de:
 - Sistema de Comunicaciones Power Line Carrier (PLC) utilizado generalmente para la comunicación entre las UTRs que se encuentran en todas las subestaciones o centrales supervisadas por ARCONEL y los servidores eLAN.
 - La red WAN de fibra óptica que permite la comunicación desde los servidores eLAN hacia los centros de control de ARCONEL y TRANSELECTRIC ubicados en la ciudad de Quito.

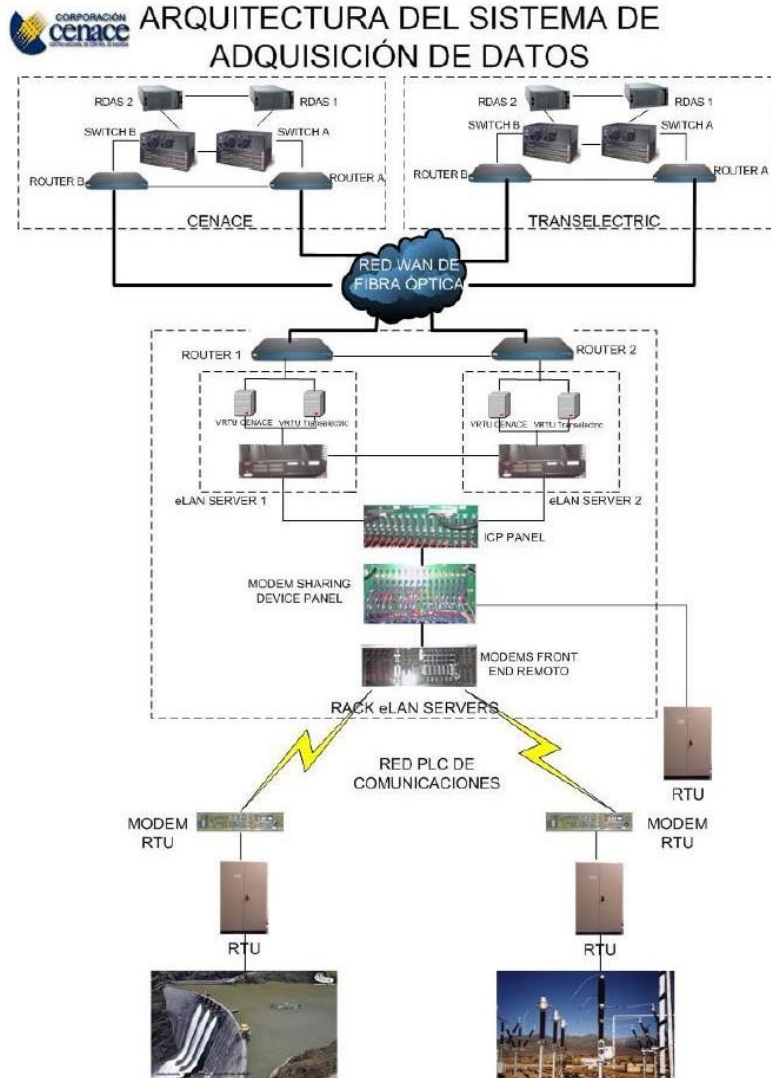


Figura3.1: Arquitectura del Sistema de Adquisición de Datos

3.1.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS SERVIDORES ELAN EN EL SNI

3.1.3.1 Ubicación de los servidores Elan

Se decidió ubicar cuatro servidores en lugares geográficamente estratégicos que permitan concentrar de mejor manera la información enviada por los canales de comunicaciones PLC y el sistema de F.O. del Sistema Nacional Interconectado:

1. eLAN Santa Rosa ubicado en la ciudad de Quito
2. eLAN Quevedo ubicado en la ciudad de Quevedo
3. eLAN Pascuales ubicado en la ciudad de Guayaquil
4. eLAN Molino ubicado en el la Central Paute

El anillo de fibra se forma mediante estos enlaces que unen los cuatro pares de servidores eLAN con el ARCONEL y COT (figura 3.3), tomando en cuenta que el anillo se cierra independientemente para el ARCONEL como COT.

Los routers actualizan constantemente sus tablas de enrutamiento de tal manera que para llegar de un punto otro se elige el recorrido de menor cantidad de saltos.

En el caso de que exista falla en alguno de lo de los enlaces, los routers encaminan la información por el camino que tenga disponible para llegar al punto de destino.

3.2 Matemática de las Wavelets

3.2.1 Historia de las Wavelet

En la historia de la matemática, la primera referencia del concepto de wavelet está asociada a Jean Baptiste Joseph Fourier puesto que sus trabajos en 1807 sobre la transformada de Fourier, que se permitieron representar casi cualquier señal; con esto Fourier dio la apertura hacia un nuevo mundo. En 1909 se mencionó una Wavelet, lo cual se dio en el trabajo de tesis de A. Haar. La propiedad de Wavelet de Haar es su soporte compacto. En 1930 Paul Levy vio en una de sus aplicaciones sobre el movimiento Browniano que la Wavelet de Haar era más apropiada para la descomposición de la señal que a través de Fourier. En la década de los 80, Grossman y Morlet definieron las Wavelet en el contexto de la física cuántica. En la misma década Stephane Mallat dio un salto importante a través de su trabajo sobre el procesamiento digital de señales. Por otro lado, Meyer construyó la primer Wavelet no trivial la cual era continuamente diferenciable. Ingrid Daubechies se apoyó en el trabajo de Mallat para construir un grupo de funciones básicas ortogonales de Wavelet, las que resultan ser, la más base sólida de la versión de las Wavelets y parte importante de las Wavelets actuales, que cualquier científico con una formación matemática mínima puede programar y utilizar fácilmente.[16],[17],[18]

3.2.2 Definición general de las Wavelets

Las *Wavelets* son familias de funciones que son definidas en el espacio y se emplean como funciones de análisis, examinando la señal de interés en el plano tiempo-frecuencia

para obtener sus características periódicas y no periódicas.

La Transformada Wavelet de una función $f(t)$ es la descomposición de $f(t)$ en un conjunto de funciones $\psi(t)$, que forman una base y son llamadas las -Wavelets, esta debe cumplir con los siguientes criterios matemáticos:[19]

La Wavelet debe tener la energía finita:

$$\int |\psi(t)|^2 dt < \infty \quad (1)$$

La función Wavelet $\psi(t)$ debe cumplir con el criterio de la constante de admisibilidad C_ψ :

$$C_\psi = \left(\int_0^\infty \frac{|\hat{\psi}(f)|^2}{f} df \right)^{-1} > 0 \quad (2)$$

donde:

- f denota la frecuencia y la condición implica que la wavelet que debe tener frecuencia cero ($\psi(0) = 0$)
- $\hat{\psi}(f)$ es la transformada de Fourier de la Wavelet
- C_ψ depende de la Wavelet seleccionada

El término Wavelet significa onda pequeña pues esta función es de duración finita y comportamiento oscilatorio. El término madre implica que las funciones con distintas regiones de soporte que se usan en el proceso de transformación se derivan de una función principal, lo que viene a ser la Wavelet madre. Es decir, la función Wavelet madre es un prototipo a partir del cual se obtienen las demás funciones ventana.

Esta función Wavelet debe cumplir con ciertos criterios o propiedades:

1) El área total sobre la curva de la función es cero, es decir.[20]

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3)$$

Las Wavelets son generadas a partir de la traslación y cambio de escala de una misma función Wavelet $f(t)$, llamada la “Wavelet madre”, y se define como:

$$\frac{1}{\sqrt{|a|}} f\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4)$$

Donde:

- a y b son números reales
- a es el factor de escala
- t es el factor de traslación.

Las Wavelets generadas de la misma función Wavelet madre. Se utilizan siempre factores de escala $a > 0$. Las Wavelets son dilatadas cuando la escala $a > 1$, y son contraídas cuando $a < 1$. Así, cambiando el valor de a se cubren diferentes rangos de frecuencias.

Los Valores grandes del parámetros corresponden a frecuencias de menor rango, o una escala grande de ()

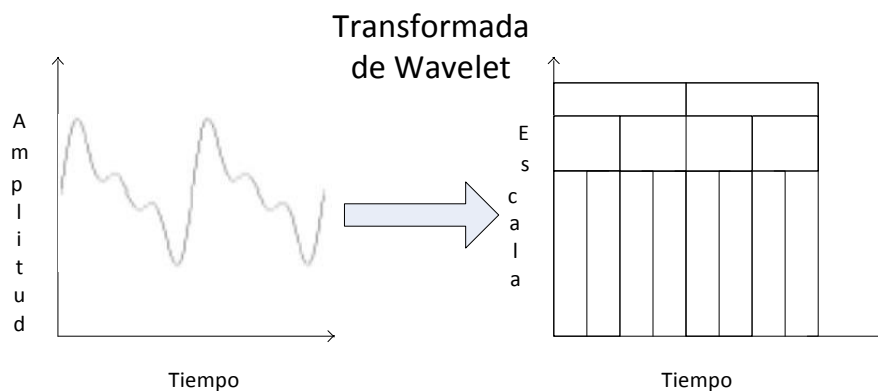


Figura3.3: Transformada de Wavelets

Fuente: Autor

Las Transformadas Wavelets se dividen en dos tipos:

- Transformada Wavelet Continua

- Transformada Wavelet Discreta

3.2.3 Transformada Wavelet Continua (CWT)

3.2.3.1 Definición

La Transformada Wavelet Continúa es representar una señal como una combinación lineal de señales de duración efectiva limitada que se obtienen por traslación y escalado de una función original denominada Wavelet Madre.[18]

La transformada da la máxima libertad en la elección de la Wavelet, con la restricción que obtenga la condición de media nula. Con esta condición permite que sea invertible en rango en la CWT y sus parámetros cambian en forma continua. La transformada inversa está dada por:

$$f(t) = \iint \hat{f}(\omega) \psi\left(\frac{t - \tau}{a}\right) \frac{d\omega d\tau}{a} \quad (5)$$

Donde ψ satisface la condición de media Nula ya dicha anteriormente, con

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad (6)$$

Siendo $\hat{f}(\omega)$ la transformada Fourier de $f(t)$.

La integral se realiza de manera similar a la FCT

Y de esta forma la Transformada Wavelet Continua tiene la forma:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{|C|}} \int \hat{f}(\omega) \psi\left(\frac{t - \tau}{a}\right) \frac{d\omega d\tau}{a} \quad (7)$$

donde:

- a y b son números Reales
- $a \neq 0$
- $f(t)$ es la señal
- $\psi(t)$ es la wavelet madre

Sin embargo, de forma más general, $()$ puede ser cualquier función pasa-banda y el

esquema todavía funciona. En particular uno puede evitar funciones con valores complejos y trabajar solo con aquellas que tengan valores reales.

Es importante notar aquí, que la frecuencia local $f = a \cdot f_0$, tiene poco que ver con la descripta para la STFT y ahora está asociada con el esquema de escalas. Como resultado esta frecuencia local, cuya definición depende de la wavelet madre, no está más ligada a la frecuencia de modulación sino a las distintas escalas temporales. Por esta razón se prefiere en general la utilizar el término –escala‖ y no –frecuencia‖ para la CWT. La escala para el análisis wavelet tiene el mismo significado que la escala en los mapas geográficos: grandes escalas corresponden a señales comprimidas (–vistas de lejos‖) mientras que escalas pequeñas corresponden a señales dilatadas (–vistas de cerca o ampliadas‖).

3.2.4 Transformada Wavelet Discreta (DWT)

Para realizar la DWT debe tener la condición de Nyquist para discretizar los parámetros de tiempo y de escala respectivamente. Por lo que hablar de la DWT es hablar de CWT discretizada.[21],[22]

Las wavelets discretas no son continuamente escalables y trasladables ya que sólo pueden serlo en pasos discretos. Por ello la expresión de la Wavelet continua puede ser reformulada como:

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{a_0}} \psi\left(\frac{t - b_0}{a_0}\right) \quad (8)$$

Siendo:

- **j y k** factores enteros de escalado –nivel de la transformada‖
- **$a_0 > 1$** un paso fijo de dilatación, del cual depende a su vez un factor de traslación
- Si se elige $a_0 = 2$, con esto se habla de un muestreo diádico y parámetros de traslación

Y de esta forma la transformada discreta de wavelets tiene la forma:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left(\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{c} 1 \\ -1 \end{array} \right) \quad (9)$$

3.2.5 Familia Wavelets

El número de Wavelets en la actualidad son numerosas, por lo cual conviene usar aquel cuya forma se adecúe al tipo de señal que se va a trabajar.[23],[22],[24]

Las familias más usadas son:

3.2.5.1 Wavelet DAUBECHIES

Tabla 3.1: Características Wavelet DAUBECHIES

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Creada	Daubechies
Nombre corto	Db
Orden N	N= 1(Haar), 2, 3, 4,
Ejemplos	db1 or Haar, db4, db12, db20
Ortogonal	Si
Biortogonal	Si
DWT	Posible
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	waveletdabechies=dbwavf('dbN')

Fuente: Autor

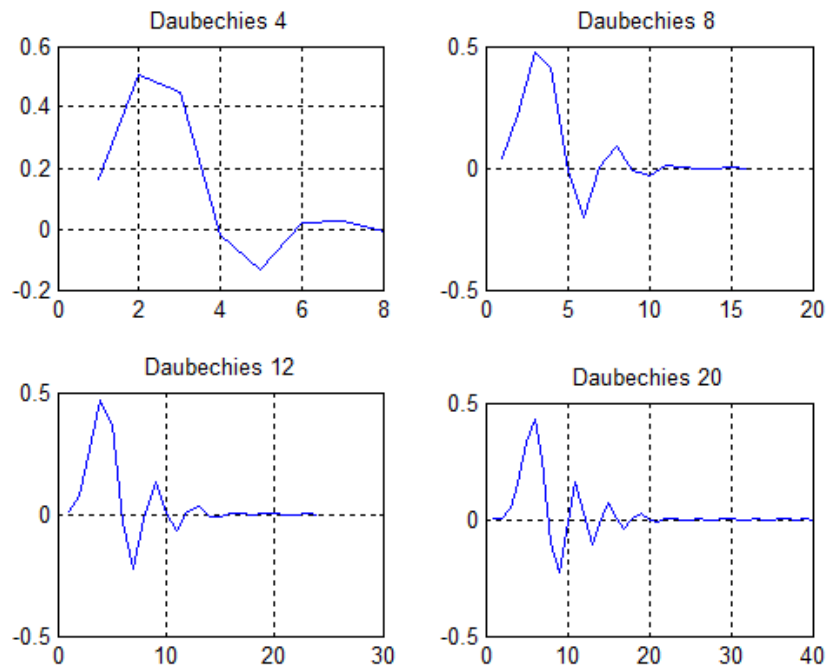


Figura3.4: Wavelet Daubechies de orden N graficado en MATLAB

Fuente: Autor

3.2.5.2 Wavelet SYMMLETS

Tabla 3.2: Características Wavelet SYMMLETS

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Creada Daubechies	Daubechies
Nombre corto	Db
Orden N	N= 2, 3, 4,, 45.
Ejemplos	Sym2, sym8, sym 10
Ortogonal	Si
Biortogonal	Si
DWT	Posible
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	waveletsymmlets= symwavf ('symN')

Fuente: Autor

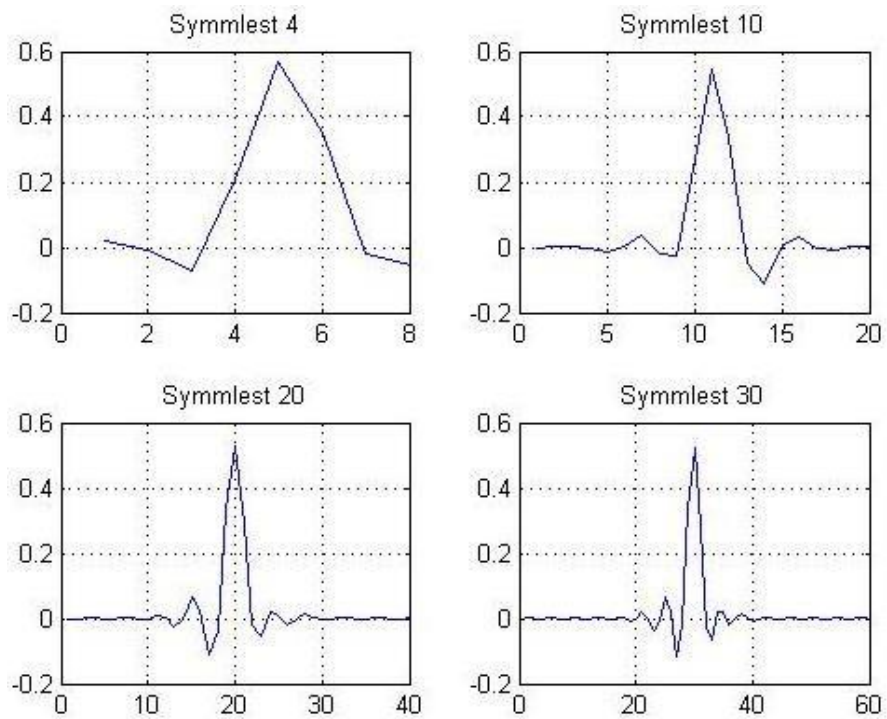


Figura3.5: Wavelet Symmlets de orden N graficado en MATLAB
Fuente: Autor

3.2.5.3 Wavelet COIFLET

Tabla 3.3: Características Wavelet COIFLET

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Creada	Daubechies con Coifman
Nombre corto	Coif
Orden N	N= 1, 2, 3, 4, 5.
Ejemplos	coif2, coif4
Ortogonal	Si
Biortogonal	Si
DWT	Posible
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	waveletscoiflet= coifwvf('coifN')

Fuente: Autor

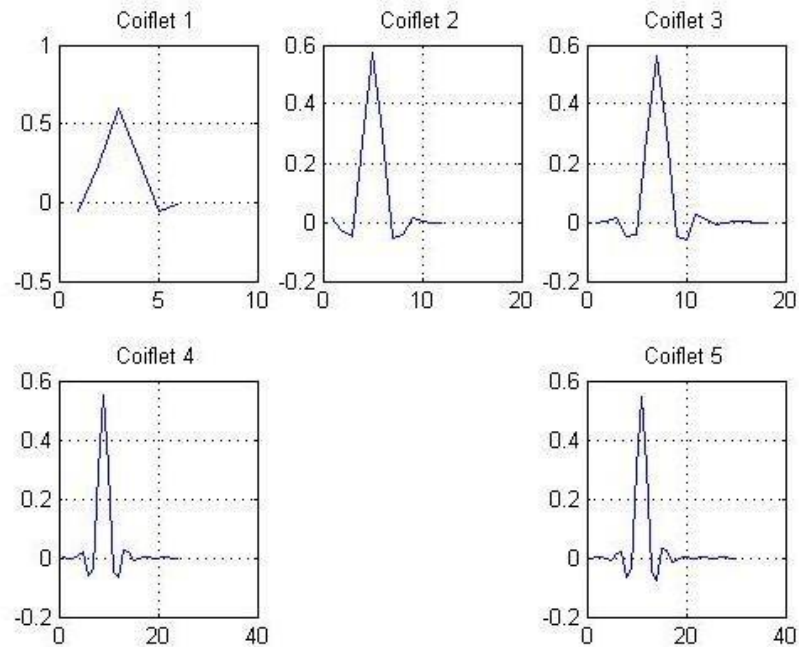


Figura3.6: Wavelet Coiflet de orden N graficado en MATLAB
Fuente: Autor

3.2.5.4 Wavelet MAYER

Tabla 3.4: Características Wavelet Meyer

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Creada	Mayer
Nombre corto	Meyr
Soporte Efectivo	[-5 5]
Ortogonal	Si
Biortogonal	Si
DWT	Posible pero sin FWT
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	Meyer $[\text{phi}, \text{psi}, \text{x}] = \text{meyer}(\text{lb}, \text{ub}, \text{n});$ $\text{Lb}=-8, \text{ub}=8, \text{n}=1024$

Fuente: Autor

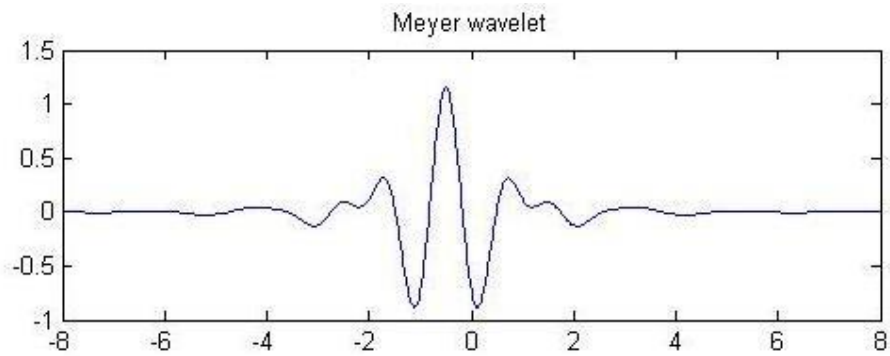


Figura 3.7: Wavelet Mayer graficado en MATLAB

Fuente: Autor

3.2.5.5 Wavelet GAUSSIANA

Tabla 3.5: Características Wavelet GAUSSIANA

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Creada	Gaussian
Nombre corto	Gaus
Soporte efectivo	[-5 5]
Ortogonal	Si
Biortogonal	Si
DWT	No
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	$\text{gaus}(x,n) = Cn * \text{diff}(\exp(-x^2),n)$

Fuente: Autor

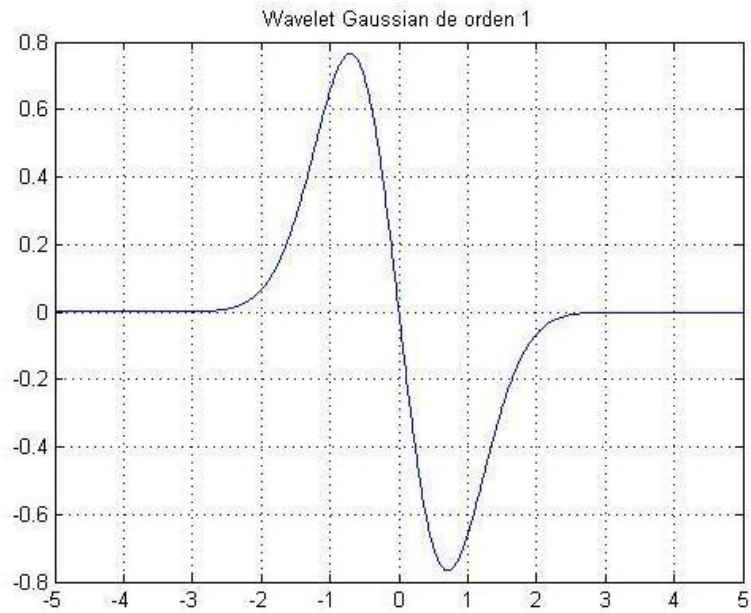


Figura 3.8: Wavelet Gaussian de orden 1 graficado en MATLAB
Fuente: Autor

3.2.5.6 Wavelet SOMBRERO MEXICANO

Tabla 3.6: Características Wavelet SOMBRERO MEXICANO

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Familia	Mexican Hat
Nombre corto	Mexh
Ortogonal	Si
Biortogonal	Si
DWT	No
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	$\text{mexh}(x) = c * \exp(-x^2/2) * (1-x^2)$ <p>donde $c = 2/(\sqrt{3} * \pi^{1/4})$</p>

Fuente: Autor

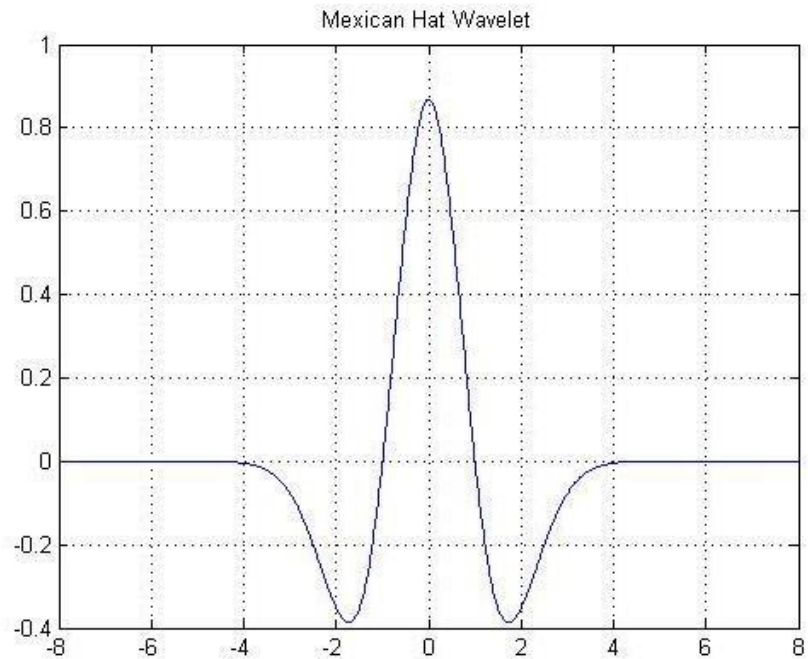


Figura 3.9: Wavelet Sombrero Mexicano graficado en MATLAB
Fuente: Autor

3.2.5.7 Wavelet MORLET

Tabla 3.7: Características Wavelet MORLET

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Familia	Morlet
Nombre corto	Morl
Ortogonal	No
Biortogonal	No
DWT	No
CWT	Posible
Algoritmo en Matlab	$\text{morl}(x) = \exp(-x^2/2) * \cos(5x)$

Fuente: Autor

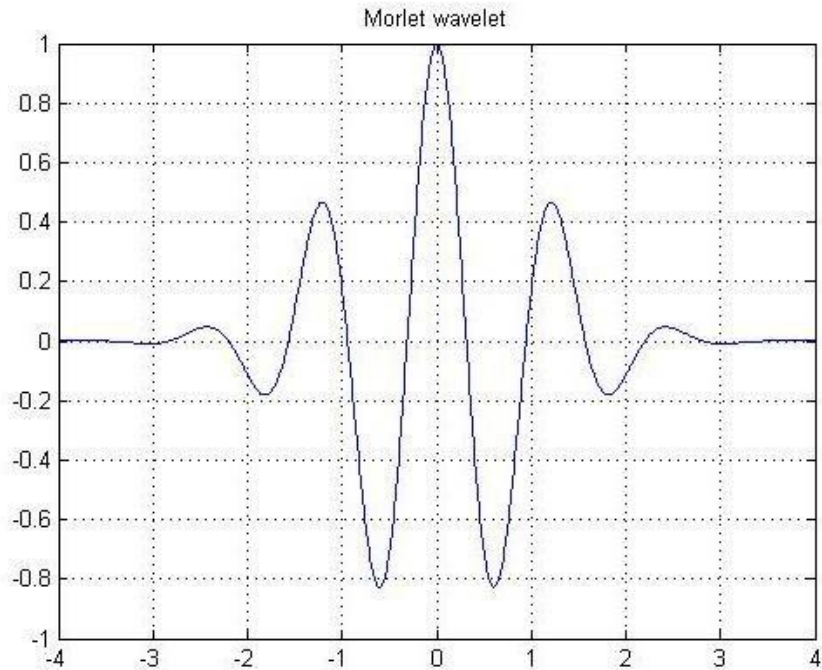


Figura 3.10: Wavelet Morlet graficado en MATLAB

Fuente: Autor

3.2.5.8 Wavelet BIORTOGONALES

Tabla 3.8: Características Wavelet BIORTOGONAL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Creada	Daubechies
Nombre corto	Bior
Orden Nr, Nd r para reconstrucción d para descomposición	Nr=1. Nd = 1, 3, 5. Nr=3. Nd = 2, 4, 6, 8. Nr=4. Nd = 1, 3, 5, 7, 9. Nr=6. Nd = 4.
Ortogonal	No
Biortogonal	Si
DWT	Posible
CWT	Posible

Fuente: Autor

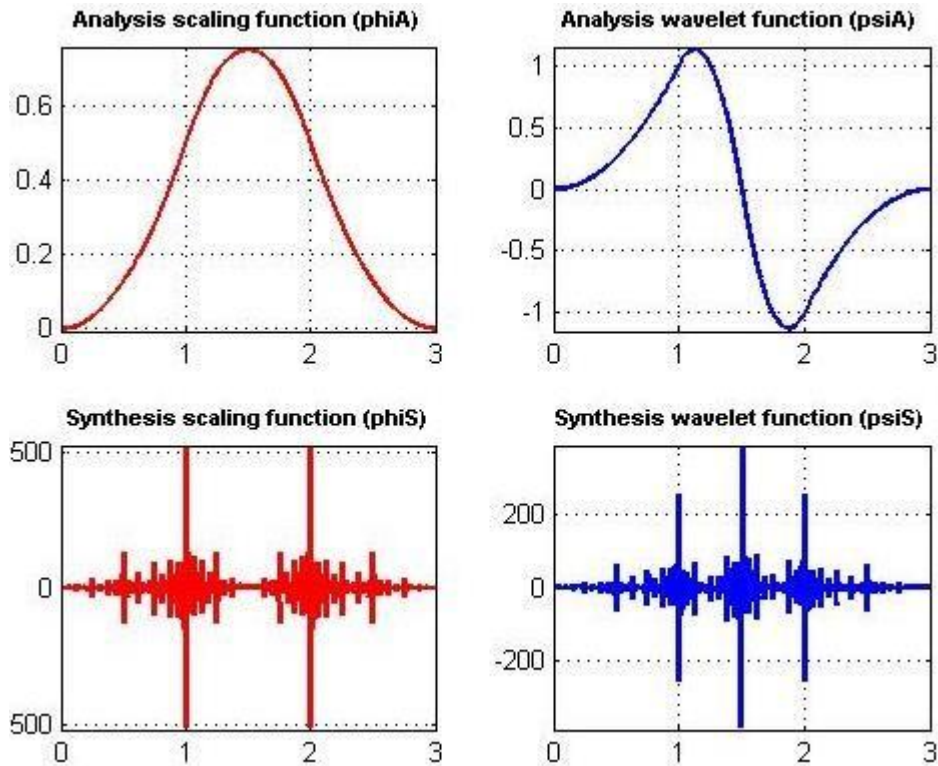


Figura 3.11: Wavelet Biortogonales graficado en MATLAB
Fuente: Autor

3.3 Compresión de la información para las comunicaciones

El nivel de compresión, es decir, qué tanto se reduce el tamaño de los archivos, depende de varios factores tales como el tamaño y tipo de archivo del que se trate, y el algoritmo o esquema de compresión.

El procesamiento de grandes cantidades de información presenta varios problemas, en el aumento del tiempo de procesamiento y el de transmisión de la Información. Los tiempos son trascendentes en aplicaciones sobre Internet y en aplicaciones de comunicaciones a tiempo real.[25]

La compresión de datos de información se define como el proceso de reducir la cantidad de datos obligatorios para reproducir la información eficazmente, es decir, la eliminación de datos redundantes. La operación de restaurar los datos originales de los datos comprimidos es llamada reconstrucción.

3.3.1 Fundamentos de la compresión

En un documento de 1948 titulado –Una teoría matemática de la comunicación, Claude E. Shannon estableció las bases de la compresión de datos. Shannon definió que existe un límite, llamado nivel de entropía e identificado como H , cuyo valor depende de la información original, esto es: de la naturaleza estadística de los datos o mejor dicho de cómo están distribuidos estos datos. Shannon describió que toda fuente de información digital puede comprimirse sin pérdida de datos con un valor cercano al límite H , pero es matemáticamente imposible mejorar ese límite.[26],[27]

Hay dos tipos de compresión:

3.3.1.1 La compresión sin pérdida:

En este caso el interés es poder reconstruir todos los datos de manera exacta sin pérdida de la información.

Los mecanismos de compresión de datos sin pérdida que emplean los formatos que nos ocupan se fundamentan en la búsqueda de repeticiones y patrones en las secuencias de datos que contiene un fichero o un conjunto de ficheros. Una vez analizados estos, la información se recodifica de forma que requiera menor espacio en disco. Así, la cadena CCCCCCCC, que ocupa ocho bytes, puede codificarse sencillamente como 8C, lo cual constituye un ahorro de seis bytes sin que a lo largo del proceso se haya perdido ningún dato: tras la decodificación de los mismos, la cadena puede ser restaurada como CCCCCCCC y devuelta a su estado original. Nuestro ejemplo tal vez peca de simplista, puesto que los algoritmos que se emplean en este ámbito son capaces de simplificar series de datos mucho más complejas.[28]

Los compresores estandarizados de datos son compresores sin pérdida (como los compresores ZIP o RAR) que generalmente están basados en el algoritmo de Lempel-Ziv-Welch (Ziv & Lempel 1977) o sus modificaciones. Este algoritmo se basa en un análisis inicial del dato para identificar las secuencias repetidas que permitan armar un diccionario de equivalencias, asignando códigos breves a estas secuencias repetidas. Aunque pueden ser usados para reducir el tamaño de los MDE, no ofrecen altas tasas de compresión ya que los modelos digitales de elevación reflejan el cambio continuo de las ondulaciones del terreno y consecuentemente hay pocas secuencias repetidas. Por ello, y teniendo en cuenta

el carácter, como regla suave, de los MDE se ha analizado el uso de los wavelets en la compresión.

3.3.1.2 La compresión con pérdida:

La compresión con pérdida sólo es útil cuando la reconstrucción exacta no es indispensable para que la información tenga sentido. La información reconstruida es solo una aproximación de la información original. Suele restringirse a información analógica que ha sido digitalizada (imágenes, audio, video, etc.), donde la información puede ser "parecida" y, al mismo tiempo, ser subjetivamente la misma. Su mayor ventaja reside en las altas razones de compresión que ofrece.

La compresión con pérdida acepta una pérdida de datos para poder mejorar el factor de compresión. Se aplica generalmente al almacenamiento digital de datos analógicos como ficheros de gráficos y de sonidos. La gran ventaja de compresión con pérdida es alcanzar una tasa de compresión más elevadas a costa de sufrir una pérdida de información sobre la imagen original.[29]

3.4 Aplicar Wavelet para compresión de la información

La compresión de señales surge a partir de la necesidad de almacenar o transmitir grandes volúmenes de señales basado en la Transformada Wavelets Packages (WPT). Las señales se descomponen mediante la WPT y los coeficientes obtenidos se someten a un proceso de comparación con umbrales. Se pueden almacenar los coeficientes remanentes mediante un algoritmo que permite obtener una alta tasa de compresión con baja distorsión residual (PRD Percent Root-mean squared Distortion)[26],[28],[30]

Mediante la WPT las señales son segmentadas y descompuestas; los coeficientes resultantes se comparan con un umbral, y aquellos cuyos valores absolutos resulten menores que el umbral fueron igualados a cero, conservándose los demás (umbral "duro").

La compresión de datos está sujeta al concepto de entropía, ella mide la cantidad de información que contiene una señal, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2(P(x_i)) \quad (10)$$

dónde:

- H es la entropía, las p son las probabilidades de que aparezcan los diferentes valores
- n el número total de valores presentes en la señal. Comprimir una señal equivale a eliminar información redundante.

El cálculo de la medida de entropía nos permite verificar el grado efectividad de un proceso que busque representar en forma más compacta una señal.[30],[19]

La compresión de datos con wavelets involucra varios pasos:

- El primer paso debe aplicarse la transformada Wavelet a la onda con los datos originales, con tantos niveles de descomposición como sea necesario (generalmente 5 o 6 niveles son suficientes).
- El segundo paso se aplica un umbral al conjunto de coeficientes wavelets obtenido. El umbral indica el valor absoluto mínimo que deben tener los coeficientes para que no sean considerados insignificantes.
- El tercer paso consiste en cuantizar los coeficientes umbralizados. La cuantización le permite transformar la matriz de números reales resultante del paso anterior a una matriz de números enteros que sirve de insumo al próximo paso.[17]

En el caso de la cuantización lineal uniforme, dado cada coeficiente se cuantiza de acuerdo con:

$$\text{---} - () \quad (11)$$

donde:

- $[x]$ representa la parte entera de x .
- El valor de Δ es una medida del error máximo que se introduce en la cuantización.

En este caso el valor de se puede restaurar a partir del coeficiente cuantizado a través de:[28]

$$(12)$$

Por último, la matriz de enteros obtenida tras la cuantización es comprimida y convertida en un flujo de bits.

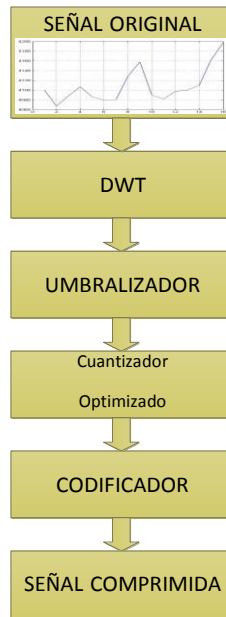


Figura 3.12: Los Pasos de la Compresión de una señal
Fuente: Autor

La restauración de los datos originales se obtiene realizando las transformaciones inversas en cada uno de los pasos mencionados anteriormente a excepción de la umbralización que es totalmente irreversible.

La información que se va a comprimir es una Onda Unidimensional el cual no depende del tiempo sino del número de datos que se envían.

Estos datos de la Planta de Generacion son enviados a ARCONEL, de la informacion de los indicaciones electricas de los 4 generadores que se va a tomar de ejemplo con datos reales de la Central Hidroelectrica Cumbaya .

CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYÁ

INDICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS GENERADORES

CODIGO : GE-EH-P001-0001-F002

FECHA: Jueves, 18 de diciembre de 2014

HORAS	GENERADOR N°1					GENERADOR N°2					GENERADOR N°3					GENERADOR N°4					TOTAL			
	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	MW	MVAR	COS Φ	
0:00						4.101	1.106	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
01:00						4.152	1.112	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
02:00						4.101	1.106	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
03:00						4.117	1.107	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
04:00						4.016	1.139	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
05:00						4.140	1.085	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
06:00						4.072	1.124	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
07:00						4.101	1.102	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
08:00						4.106	1.117	8,0	0,5	0,998												8,0	0,5	0,998
09:00						4.106	1.400	10,0	0,5	0,999												10,0	0,5	0,999
10:00						4.075	1.411	10,0	0,5	0,999												10,0	0,5	0,999
11:00	4.021	859	6,0	0,5	0,997	4.038	852	6,0	0,5	0,997												12,0	1,0	0,997
12:00	4.063	863	6,0	0,5	0,997	4.081	837	6,0	0,5	0,997												12,0	1,0	0,997
13:00	4.061	863	6,0	0,5	0,997	4.084	812	6,0	0,5	0,997												12,0	1,0	0,997
14:00	4.058	934	6,5	0,5	0,997	4.076	891	6,5	0,5	0,997												13,0	1,0	0,997
15:00	4.115	950	6,5	0,5	0,997	4.125	950	6,5	0,5	0,997												13,0	1,0	0,997
16:00	4.135	910	6,5	0,5	0,997	4.148	925	6,5	0,5	0,997												13,0	1,0	0,997
17:00	4.135	965	7,0	0,5	0,997	4.145	960	7,0	0,5	0,997												14,0	1,0	0,997
18:00	4.138	999	7,0	0,5	0,997	4.166	985	7,0	0,5	0,997	4.130	601	4,0	0,5	0,992							18,0	1,5	0,997
19:00	4.150	1.255	8,5	0,5	0,998	4.152	1.268	9,0	0,5	0,998	4.130	925	6,5	0,1	1,000							24,0	1,1	0,999
19:00	4.124	1.138	8,0	0,5	0,998	4.188	1.172	8,0	0,5	0,998	4.106	908	6,5	0,1	1,000	4.116	1.035	7,5	0,5	0,998		30,0	1,6	0,999
19:15	4.140	1.124	8,0	0,5	0,998	4.150	1.110	8,0	0,5	0,998	4.107	915	6,5	0,1	1,000	4.130	1.045	7,5	0,5	0,998		30,0	1,6	0,999
19:30	4.144	1.139	8,0	0,5	0,998	4.159	1.110	8,0	0,5	0,998	4.084	909	6,5	0,1	1,000	4.116	1.045	7,5	0,5	0,998		30,0	1,6	0,999
20:00	4.135	1.110	8,0	0,5	0,998	4.159	1.099	8,0	0,5	0,998	4.120	898	6,5	0,1	1,000	4.137	1.017	7,5	0,5	0,998		30,0	1,6	0,999
21:00	4.200	1.113	8,0	0,5	0,998	4.205	1.098	8,0	0,5	0,998	4.162	916	6,5	0,1	1,000	4.152	1.038	7,5	0,5	0,998		30,0	1,6	0,999
22:00	4.217	1.110	8,0	0,5	0,998	4.224	1.078	8,0	0,5	0,998	4.211	902	6,5	0,1	1,000	4.206	1.017	7,5	0,5	0,998		30,0	1,6	0,999
23:00						4.205	1.228	9,0	0,5	0,998												9,0	0,5	0,998
24:00						4.155	1.246	9,0	0,5	0,998												9,0	0,5	0,998
53,5				139,5							30,0										328,0			

	1er TURNO	2do TURNO	3er TURNO
OPERADOR	LEONARDO CHILLAN	O CUSI	RICARDO TOBAR
AYUDANTE	LUIS CRUZ	R EULCA	TULIO BENAVIDEZ
			XXXXXXXXXX

CARGA GENERADA EN LA CENTRAL		
Máxima :	300	MW
Mínima :	80	MW
Máxima :	16	MVAR
Mínima :	0,5	MVAR

Figura 3.13: La Valores obtenidos de planta de generación de un día
Fuente: Centro de generación hidroeléctrica Cumbaya

Se envía los datos de la fila el cual se ingresa la información del día y la hora deseada al momento

Los datos enviados al programa son por cada generador

- Voltaje
- Corriente
- Potencia Activa
- Potencia Reactiva
- $\cos \phi$

El cual se genera una onda unidimensional ya que es una onda de datos que no depende del tiempo

3.4.2 Funciones del algoritmo computacional en Matlab para la Compresión

La herramienta matemática de Wavelet es importante en el tratamiento y compresión de señales unidimensionales, gracias a ella se obtiene características significativas del comportamiento de la señal. En el algoritmo desarrollado se utilizaron funciones para filtrar y descomponer la señal unidimensional para analizar los parámetros de los datos, la simulación se realizó en Matlab R2014a. [31]


A continuación se especifica en detalle las funciones utilizadas en el desarrollo del algoritmo matemático con el fin de ilustrar la compresión que se desea a la señal a enviar y el grado de análisis.

Por medio de la implementación de la transformada de Wavelet específicamente la familia Haar, utilizando el toolbox de Wavelet de Matlab, herramienta matemática de programación de gran importancia en el tratamiento de señales.

3.4.2.1 Cargar señal

Cargar en la memoria la señal de los datos de las indicaciones eléctricas de los generadores que está en formato de Excel. [32]

Las posibles formas de graficas que se puede obtener según el número de generadores funcionales:



EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYÁ

INDICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS GENERADORES

CODIGO : GE-EH-P001-H001-F002

FECHA: Jueves, 10 de diciembre de 2014

HORA	GENERADOR N°1					GENERADOR N°2					GENERADOR N°3					GENERADOR N°4				
	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ
19:30	4.144	1.139	8,0	0,5	0,990	4.129	1.110	8,0	0,5	0,990	4.094	909	6,5	0,1	1,000	4.116	1.045	7,5	0,5	0,990
20:00	4.135	1.110	8,0	0,5	0,990	4.169	1.039	8,0	0,5	0,990	4.120	890	6,5	0,1	1,000	4.137	1.017	7,5	0,5	0,990
21:00	4.200	1.113	8,0	0,5	0,990	4.206	1.096	8,0	0,5	0,990	4.162	916	6,5	0,1	1,000	4.190	1.036	7,5	0,5	0,990
22:00	4.217	1.110	8,0	0,5	0,990	4.224	1.078	8,0	0,5	0,990	4.211	902	6,5	0,1	1,000	4.204	1.017	7,5	0,5	0,990
23:00						4.205	1.226	9,0	0,5	0,990										
24:00						4.155	1.246	9,0	0,5	0,990										
	80,3					189,3					90,1					80,2				

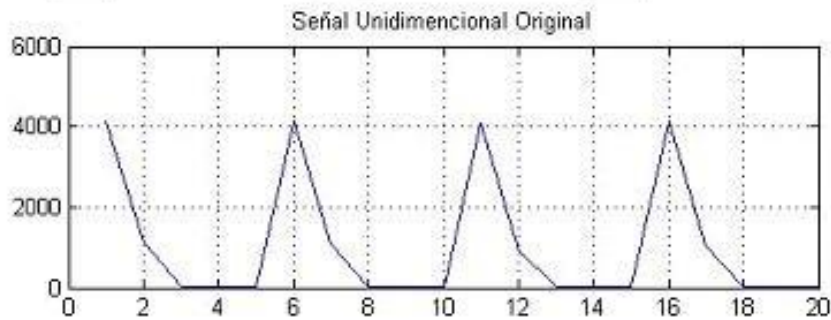


Figura3.14: Datos de funcionamiento de cuatro Generador
Fuente: Autor

		CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYÁ																		
INDICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS GENERADORES																				
CODIGO : GE-EH-P001-H001-F002																				
FECHA: Jueves, 11 de diciembre de 2014																				
HORA	GENERADOR N°1					GENERADOR N°2					GENERADOR N°3					GENERADOR N°4				
	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ	V	A	MW	MVAR	COS Φ
16:00						4.138	1.105	8,0	0,5	0,990						4.124	1.053	8,0	0,5	0,990
16:30						4.174	1.092	8,0	0,5	0,990						4.163	1.065	8,0	0,5	0,990
17:00						4.178	1.092	8,0	0,5	0,990						4.125	1.065	8,0	0,5	0,990
18:00						4.181	1.085	8,0	0,5	0,990						4.185	1.085	8,0	0,5	0,990
19:30	4.137	1.390	10,0	0,5	0,990	4.161	1.395	10,0	0,5	0,990						4.155	1.295	10,0	0,5	0,990
19:00	4.167	1.400	10,0	0,5	0,990	4.194	1.395	10,0	0,5	0,990						4.166	1.275	10,0	0,5	0,990
19:15	4.167	1.400	10,0	0,5	0,990	4.194	1.395	10,0	0,5	0,990						4.166	1.275	10,0	0,5	0,990
19:30	4.168	1.398	10,0	0,5	0,990	4.188	1.400	10,0	0,5	0,990						4.179	1.388	10,0	0,5	0,990
20:00	4.165	1.395	10,0	0,5	0,990	4.185	1.400	10,0	0,5	0,990						4.179	1.388	10,0	0,5	0,990
21:00	4.165	1.379	10,0	0,5	0,990	4.208	1.390	10,0	0,5	0,990						4.200	1.388	10,0	0,5	0,990
22:00	4.167	1.379	10,0	0,5	0,990	4.192	1.365	10,0	0,5	0,990						4.186	1.375	10,0	0,5	0,990
23:00	4.160	1.342	8,0	0,5	0,990	4.166	1.117	8,0	0,5	0,990						4.162	1.128	8,0	0,5	0,990
24:00	4.195	4.104	16,0	0,5	0,990											4.220	1.393	10,0	0,5	0,990
80,0						200,0					0,0					170,0				

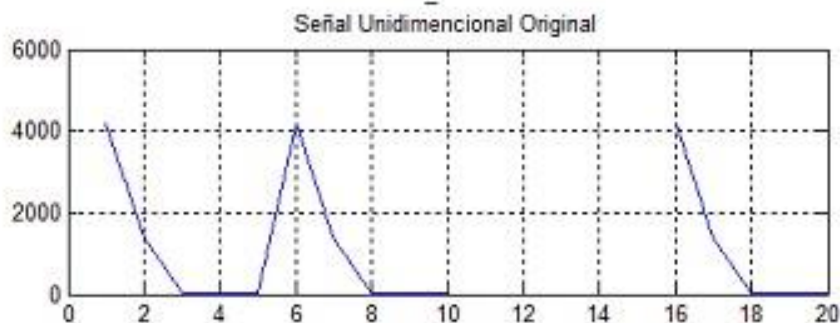


Figura 3.15: Datos de funcionamiento de tres generadores
Fuente: Autor



EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYÁ

INDICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS GENERADORES

CODIGO: GE-EH-P001-001-F002

FECHA: martes, 18 de diciembre de 2018

HORA	GENERADOR N°1					GENERADOR N°2					GENERADOR N°3					GENERADOR N°4				
	V	A	Hz	MVAR	cos φ	V	A	Hz	MVAR	cos φ	V	A	Hz	MVAR	cos φ	V	A	Hz	MVAR	cos φ
09:00	4.142	1.400	59,0	0,5	0,999											4.115	970	7,0	2,5	0,997
10:00	4.124	988	7,2	0,5	0,997											4.115	970	7,0	2,5	0,997
11:00	4.124	988	7,2	0,5	0,997											4.121	980	7,0	2,5	0,997
12:00	4.105	1.500	7,2	0,5	0,997											4.123	985	7,0	2,5	0,997
13:00	4.121	984	7,2	0,5	0,997											4.123	985	7,0	2,5	0,997
14:00	4.121	984	7,2	0,5	0,997											4.123	985	7,0	2,5	0,997
15:00	4.073	1.520	7,2	0,5	0,997											4.072	1.002	7,0	2,5	0,997
16:00	4.063	1.513	7,2	0,5	0,997											4.071	1.006	7,0	2,5	0,997
17:00	4.103	1.500	7,2	0,5	0,997											4.100	1.000	7,0	2,5	0,997

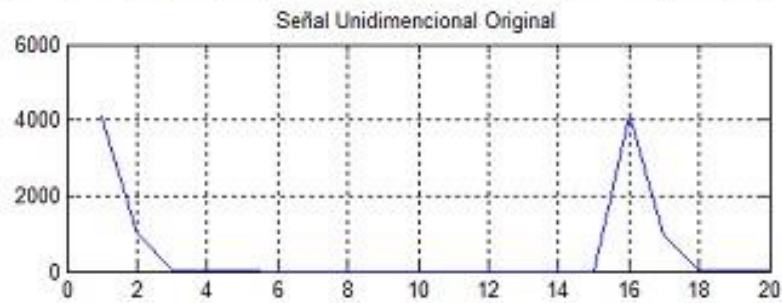



Figura3.16: Datos de funcionamiento de dos generadores
Fuente: Autor

		CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYÁ																			
		INDICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS GENERADORES																			
		CODIGO : GE-EH-P001-001-F002																			
		FECHA: sábado, 21 de diciembre de 2018																			
HORA	GENERADOR N°1					GENERADOR N°2					GENERADOR N°3					GENERADOR N°4					
	V	A	MW	MVAR	cos φ	V	A	MW	MVAR	cos φ	V	A	MW	MVAR	cos φ	V	A	MW	MVAR	cos φ	
01:00																4.178	1.171	9,0	2,5	0,998	
02:00																4.183	1.182	9,0	2,5	0,998	
03:00																4.167	1.235	9,0	2,5	0,998	
04:00																4.169	1.235	9,0	2,5	0,998	
05:00																4.160	1.253	9,0	2,5	0,998	
06:00																4.150	1.243	9,0	2,5	0,998	
07:00																4.162	1.212	10,0	2,5	0,999	
08:00											4.150	855	6,0	0,1	1,000	4.107	863	6,0	2,5	0,997	
09:00											4.154	838	6,0	0,1	1,000	4.083	870	6,0	2,5	0,997	
10:00											4.150	852	6,0	0,1	1,000	4.058	852	6,0	2,5	0,997	
11:00											4.180	850	6,0	0,1	1,000	4.098	974	7,0	2,5	0,997	

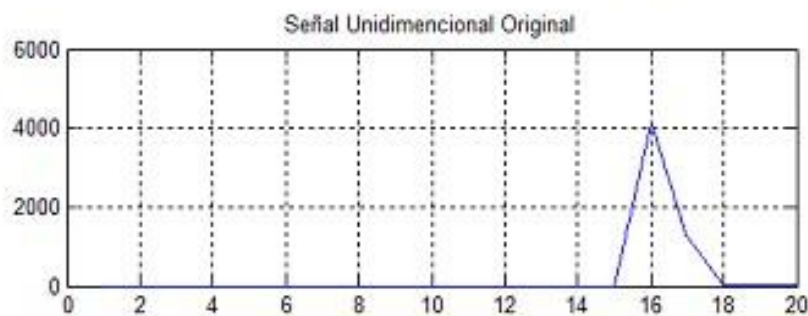


Figura 3.17: Datos de funcionamiento de un Generador
Fuente: Autor

En la gráfica indica los datos en cada punto, que se debe transmitir al ARCONEL el cual se encarga de valorar esos datos enviados por la planta de generación

3.4.2.2 Filtrado y compresión

El filtrado de la señal permite eliminar el ruido producido por interferencia de diversos factores, los cuales provocan que a la señal original se superponga otra señal de cierto nivel que puede enmascarar rasgos significativos de la misma. Las funciones utilizadas en el algoritmo corresponde a: [31],[33]

$$[\text{thr}, \text{sorh}] = \text{DDENCMP}('den', 'wv', Y) \quad (13)$$

$$\text{xd1} = \text{WDENCMP}('gbl', Y, 'db1', 3, \text{thr}, \text{sorh}, 2) \quad (14)$$

Teniendo como resultado y las graficas

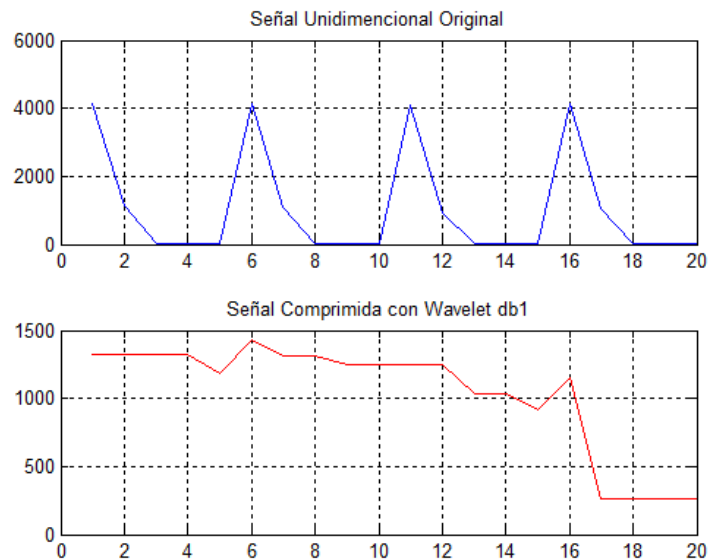


Figura 3.18: Grafica de la onda original y onda comprimida con Wavelet db1

Fuente: Autor

- **DENCMP:**

Retoma defecto para eliminar el ruido o la compresión, utilizando wavelets o wavelets packets, de un valor de entrada o una matriz X, el cual puede ser de una señal de una dimensión.

THR es el umbral, SORH es un parámetro de umbralización suave $_S'$ o fuerte $_H'$, KEEPAPP permite guardar coeficientes de aproximación. IN1 es $_den'$ o $_cmp'$

- **DENCMP:**

Realiza un proceso de eliminación del ruido o compresión de una señal utilizando Wavelet. Retorna un vector con una señal filtrada, es decir, elimina los componentes de alta frecuencia. GBL describe la opción de umbralización global, Y es el vector de la señal en

una dimensión, WNAME es el nombre de la wavelet madre a utilizar para el tratamiento de la señal, N es el nivel de descomposición. XD es el vector que se obtiene de la señal filtrada.

Así de acuerdo a los parámetros de entrada de la función DDENCMP, retorna valores por defecto de umbralización y filtrado, necesario para refinar la señal original y dar como resultado un vector **xd1**, cuyos datos representan la señal limpia para el procedimiento de análisis.

3.4.2.3 Datos de onda comprimida

A la señal ya comprimida se pasan los datos de la onda a un archivo de texto plano que se denomina con su terminación .txt que es un archivo informático compuesto únicamente por texto sin formato y sólo caracteres.[27],[34],[17]

datos = fopen('dato.txt','wt'); (15)

fprintf(datos,'\n%d', xd1); (16)

3.4.3 Funciones del algoritmo computacional en Matlab para la Descompresión

La restauración de los datos originales se obtiene realizando las transformaciones inversas en cada uno de los pasos mencionados anteriormente a excepción de la umbralización que es totalmente irreversible.

Dentro de los esquemas de codificación de los coeficientes cuantizados uno de los más usados es la codificación por planos de bits.

El centro de control ARCONEL recibir los datos del Centro de Generación -dato.txt al servidor, el programa al recibir el dato, lo gráfica y comienza a realizar la descompresión mediante Wavelet para obtener los datos reales enviados.

3.4.3.1 Descomponer señal

La wavelet madre empleada en el algoritmo es Haar o Daubechies siendo la misma, con un nivel 1, debido a que las señales no presentaban un nivel alto de ruido. La función que utiliza Matlab para la descomposición de la señal es:[35],

[Ca, Cd] = dwt (Norma, 'db1'); (17)

a1= upcoef ('a', Ca, 'db1', n, longitud); (18)

$$\mathbf{d1} = \text{upcoef} ('d', \mathbf{Cd}, 'db1', n, \text{longitud}); \quad (19)$$

$$\mathbf{a0} = \text{idwt} (\mathbf{Ca}, \mathbf{Cd}, 'db1', \text{longitud}); \quad (201)$$

- **DWT:**

[Ca, Cd] = DWT (signal, Wavelet madre). Esta función realiza una descomposición en un nivel de una dimensión con respecto a una Wavelet madre particular; calcula un vector de coeficiente de aproximación Ca y un de coeficientes de detalle Cd obtenidos por la descomposición del vector. Y Norma para este caso utilizamos la wavelet madre `_db1` que es la misma `_Haar`.

DWT describe la transformada Wavelet discreta que utiliza como parámetros de entrada de señal, señal a descomponer; **Wavelet madre**, la wavelet a utilizar, en este caso `_Haar` ó `_db1`. El resultado de esta descomposición es el vector de los coeficientes de aproximación **Ca**, y el vector de coeficientes de detalle **Cd**.

- **UPCOEF:**

Hace una reconstrucción directa de los coeficientes de wavelet en una dimensión. Los parámetros `_a` y `_d` definen la reconstrucción de los coeficientes de aproximación y detalle, respectivamente. Para esta función, es necesario conocer la longitud del vector YNorma.[36]

$$\mathbf{Y} = \text{UPCOEF} ('V', \mathbf{C}, \text{Wavelet madre}, \text{nivel}, \text{longitud C}) \quad (21)$$

Hace una reconstrucción de los coeficientes de Wavelet, cuyos valores de entrada son: `_V` representa los coeficientes a reconstruir, `_a` para aproximación y `_d` para detalles. **C** describe los coeficientes hallados con la función de descomposición, **Ca** para coeficientes de aproximación y **Cd** para coeficientes de detalle. **Wavelet madre** es la wavelet a utilizar, el nivel de reconstrucción y la longitud del vector de coeficientes.

3.4.3.2 Reconstrucción:

La reconstrucción de la señal se hace mediante la función:

La función:

$$\mathbf{X} = \text{IDWT}(\mathbf{Ca}, \mathbf{Cd}, \text{Wavelet madre}) \quad (222)$$

IDWT:

Corresponde a la transformada de wavelet inversa discreta de la señal. Realiza una reconstrucción de los coeficientes anteriormente descritos Ca y Cd.

IDWT realiza una reconstrucción directa de la señal con respecto a una wavelet particular, basada en los coeficientes de aproximación y detalles Ca, Cd, respectivamente.[34]

Al cual se puede ser enviado por el Programa Labview con la comunicación TCP-IP para simular la comunicación de la centro de generación al centro de control ARCONEL.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se analiza los resultados que presenta el algoritmo de compresión y descompresión mediante la transformada de Wavelet planteado en el Capítulo III, donde las simulaciones se realizaron en Matlab R2014a

4.1 Comparación con sistema actual de comunicaciones y el sistema optimizado

El sistema actual de Comunicaciones, se envía los paquetes de mensajes según el protocolo de donde se estén enviados al ARCONEL con la información del Microsoft Excel directamente en varios paquetes diferentes.

Con la compresión de información con las transformadas Wavelet que es una aplicación matemática muy útil y practica con una facilidad de implementar al sistema actual o con otros sistemas que tenga la compatibilidad con Matlab en su software.

La comparación con la que se obtiene más valioso es la compresión del 76 por ciento de la información y la cantidad de bits que se ahorra al enviar la información por lo que genera una mayor envío de datos a un menor tiempo.[37]

Resultando muy rentable la implementación de esta aplicación con las Wavelet porque se genera un envío de la misma información en una menor peso en bits y ganando un menor tiempo a las comunicaciones entre las subestaciones y los centros de generación.

Con lo ante mencionado se puede decir que este tipo de modelamientos matemático con las Wavelet es aplicable, rentable y muy útil a las comunicaciones actuales que se están ocupando en este tiempo, mejorando y siempre actualizando este tipo de incentivos con el mejoramiento para el progreso del país.

4.2 Comparación del porcentaje de compresión del sistema actual de comunicaciones y el sistema optimizado

La comparación del porcentaje de compresión depende de la wavelet según la onda que se aplique:

Tabla 4.1: Porcentaje de Compresion

Familia Wavelet	% de Compresión	Energía Mantenida	Tiempo de Compresión
db1 o Haar	76,1905	34,2996	0,0780
db2	75	70,6471	0,1092
db3	65,6250	54,9231	0,0312
db4	66,6667	46,8794	0,0312
db5	68,8889	57,7221	0,0624
db6	69,2308	56,5022	0,0624

En la tabla se demuestra que el porcentaje de mayor compresión es con la Wavelet Haar o Wavelet Daubechies (**db1**) que son la misma, aplicada por lo que la onda a transmitir no tiene ruido y es una onda unidimensional.

Al ser una información de 20 datos, se obtiene un menor porcentaje de compresión comparada a una de mayor número de datos; por lo que con esta aplicación se puede comprimir mayor información y tener mejor porcentaje de compresión.

En la gráfica puede ser visible la compresión según el **_db** utilizado:

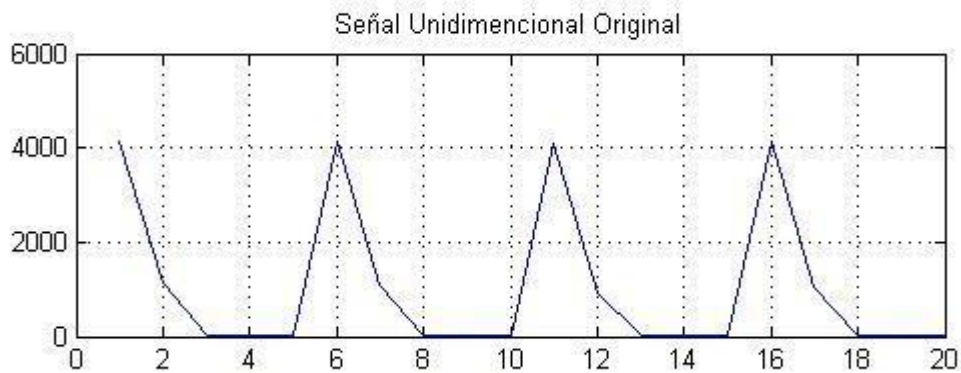


Figura 4.1: Señal Original
Fuente: Autor

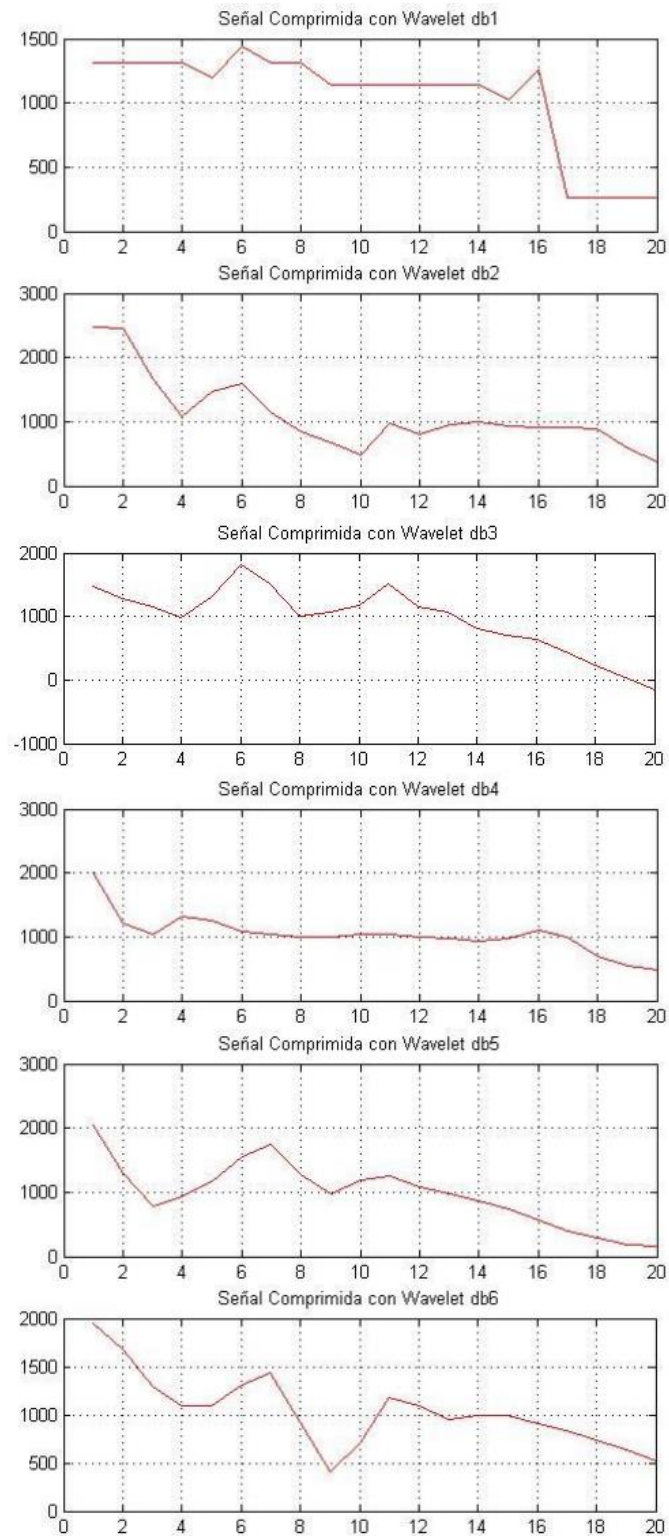


Figura 4.2: Graficas de las compresiones por db

Fuente: Autor

Con la comparación grafica se puede concluir que la Wavelet Haar tiene un menor rango en el eje Y, al resto de graficas por lo que tenemos una compresión máxima y óptima que se puede aplicar al sistema de comunicaciones actual mediante mensajes a ARCONEL,

El uso de mensaje de envío de datos, depende del tamaño de bytes que contengan porque si el dato es muy elevado se subdivide el mensaje en paquetes menores para poder enviar sin colapsar el sistema de comunicaciones.

Y la misma manera en la descompresión se tiene un porcentaje de error de onda de 0,0003%, siendo este valor mínimo y admisible por no perder información valiosa de los datos técnicos de los Generadores o la información enviada.

Con otros ejemplos analizados se observa que a menor número de datos de información el porcentaje va bajando hasta solo tener un 40 % en compresión y conservación de energía es de 98% por lo que es importante tener más información de datos obteniendo una compresión que represente la utilización de las Wavelet y sea aprovechada al máximo .

4.3 Análisis técnico para la implementación de un sistema de optimización

Para el análisis técnico de la optimización en las comunicaciones, el modelamiento de compresión del ancho de banda de los datos con Wavelet realizado en el programa de Matlab R2014a el cual se puede fusionar al sistema actual que se está usando en los centros de Generación y subestaciones.

Otra opción de implementar es usar el sistema de programación Labview que es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas mediante un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Ya que en Labview puede usarse el "script de Matlab" directamente con la necesidad de tener el software instalado y puede hacer la compresión y descompresión instantáneamente sin utilizar 2 programas aparte, ganando tiempo y espacio al envío de información desde las subestaciones y centrales de generación al centro de control ARCONEL que recibe la

información a tiempo real generando una optimización en las Comunicaciones.

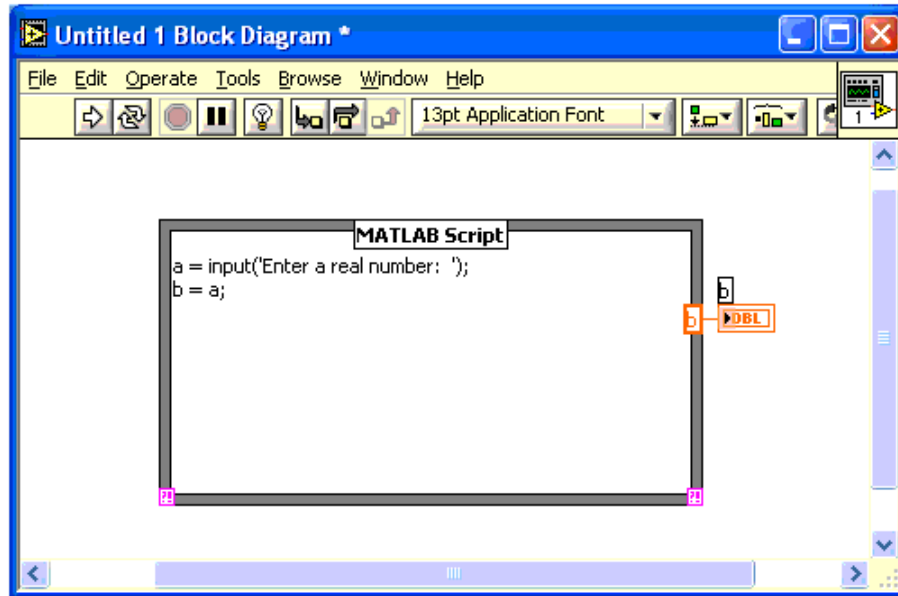


Figura 4.3: String de Matlab en Laview

Fuente: Autor

4.4 Determinación de los tiempos de comunicación entre el sistema tradicional y el optimizado

Por la diferencia de Protocolos se omitirá los parámetros del mensaje y se compara solo los datos en bits a transmitir.[38],[37]

Para calcular los tiempos se pone de base la velocidad **100Mbits/s**

Datos del Centro de Generación sin compresión:

(23)

(24)

(25)

Pasar los datos a bits:

(26)

Datos del Centro de Generación con compresión:

(27)

(28)

(29)

Pasar los datos a bits:

(30)

Formula de tiempo:

(31)

(323)

Calculo tiempo de centro de generación:

(334)

(345)

Calculo tiempo de con compresión:

(35)

(366)

Comparación de tiempos obtenidos

Tabla 4.2: Comparación de tiempos de transmisión

Datos	Número de Datos	Bits	Tiempos
Sin Comprimir	20	1280	12,8μs
Comprimido	20	329	3,29μs

Fuente: Autor

En la tabla se observar que con la compresión de información se tiene un menor tiempo al envío de datos con un 75 %, que al tiempo sin compresión de información, por lo que con esta aplicación matemática las comunicaciones son a tiempo real y muy útil para enviar más información evitando la seccionamientos de un mensaje, a una mayor velocidad;

respetando y rigiéndonos a la Regulación No. CONELEC – 005/08.

CONCLUSIONES:

- El modelamiento de la optimización de las Comunicaciones con la compresión del ancho de banda de los datos con Wavelet, aplicando sobre las comunicaciones de los centros de generación y subestaciones con el centro de control ARCONEL nos permite reducir la información y reducir el tiempo de envío y recepción de información, esto conlleva a mejorar las comunicaciones a Tiempo Real.
- El resultado del modelamiento muestra que la optimización de las comunicaciones con las Wavelet se tiene un gran porcentaje mayor a estándar usada en el sistema actual de la compresión de información mostrado en el Capítulo 4.2, limitada con el número de datos por lo que el enviar más información se obtiene un mayor porcentaje de compresión, ya que requieren un tamaño reducido para su transmisión en tiempo real.
- Las velocidades de envío de información con la optimización es a tiempo real, de tal manera que el tiempo de compresión y tiempo de descompresión son mínimos e insignificantes.
- Las wavelets son una herramienta muy potente para el estudio de señales, debido a esto, son útiles en un amplio número de aplicaciones en muy diferentes campos, donde muchas veces se obtienen mejores resultados que con otras técnicas, a pesar de ser una herramienta relativamente nueva en el procesamiento de señales.
- Durante el proceso de descompresión, se pudo observar que el porcentaje de error es ínfimo por lo cual se puede decir que la se tiene una señal descomprimida al 99.997% de la original.
- Las Wavelets son una herramienta muy potente para el estudio de ondas por lo que son muy útiles en una variedad de aplicaciones en diferentes campos, demostrando que wavelets son una técnica poderosa y con un gran potencial para trabajar con ondas de datos en compresión, eliminación de ruido y la descompresión.

- En el Ecuador existen la regularizaciones referentes a las comunicaciones, la -regularización de supervisión y tiempo real del CONELEC 005/08, en la optimización debe cumplir y estar en los parámetros con la regulación vigente.
- La comparación de tiempos de envío de datos, se obtuvo una disminución en los tiempos de un 75% siendo mucho más óptimo el uso de las Wavelet generando envío de más información a un menor tiempo usado actualmente.
- Los porcentajes de compresión que se obtuvo, es de un 76 % de la información de los datos a querer enviar generando una disminución de bits por lo que comparado a la velocidad es directamente proporcional.
- En la descompresión de la Información comprimida, se genera los datos de la onda inicial con un porcentaje de error menor al 0,003% siendo reconstrucción sin pérdida de información.

RECOMENDACIONES

- Partiendo del modelamiento presentado en este trabajo de investigación se recomienda, que al envío de datos sea de mayor cantidad teniendo una mayor porcentaje de compresión en la información, siendo superior al 76 % con lo cual se puede aprovechar más la aplicación de compresión y descompresión de las Wavelet.
- Partiendo de una velocidad local se realizó la comparación de los tiempos de envío ya que si se realizara con la velocidad del ARCONEL con los centros de generación los tiempo disminuirán directamente proporcional a los realizados en el Capítulo 4.4.
- Se recomienda la instalación del programa Matlab para utilizar la compresión de las Wavelet mediante en los centros de generación y subestaciones para aprovechar la optimización en las comunicaciones y tener un control a tiempo real de la información generada.
- Partiendo del modelamiento presentado en este trabajo de investigación se recomienda trabajar sobre la programación por las actualizaciones anuales de los elementos que conforman Matlab.
- Realizar investigaciones para la posibilidad de implementar la compresión de Wavelet en el sistema de protocolos con el software de Matlab para el mejoramiento de las comunicaciones.
- Partiendo del modelamiento realizado en este trabajo de investigación se recomienda como trabajo futuro la aplicación de las Wavelet en el envío de Bigdata teniendo una mejor compresión y aprovechamiento del espacio y de tiempo al envío de información masiva.

**REFERENCIAS CENACE, CENACE; ECUADOR; ENERGIA; SISTEMA ELECTRICO
MAYORISTA; TECNOLOGIA, 2015-02-27**

- [1] -Comunicaciones en el entorno industrial - Google Libros. || .
- [2] J. C. C. Eraso, -Redes industriales. ||
- [3] a. Willig, -Polling-based mac protocols for improving real-time performance in a wireless profibus, || *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 50, no. 4, pp. 806–817, Aug. 2003.
- [4] -Revista Electroindustria - Redes industriales PROFIBUS: La apertura en comunicación industrial con sencillez, robustez y estándar mundial. || .
- [5] K. C. Lee, S. Lee, M. H. Lee, and S. Member, -QoS-Based Remote Control of Networked Control Systems Via Profibus Token Passing Protocol, || vol. 1, no. 3, pp. 183–191, 2005.
- [6] J.-D. Decotignie, -Ethernet-Based Real-Time and Industrial Communications, || *Proc. IEEE*, vol. 93, no. 6, pp. 1102–1117, Jun. 2005.
- [7] A. R. Penin, *Comunicaciones Industriales*, Marcombo. España, 2008, pp. 1–302.
- [8] C. Tema, -BUS AS-i Tecnologías de Control Introducción Ubicación en la jerarquía de la automatización Ubicación en la jerarquía de la automatización. ||
- [9] -Comunicaciones Industriales Siemens - Vicenç Guerrero Jimenez, Ramon Yuste Yuste, Lluís Martínez - Google Libros. || .
- [10] H. I. Analysis and C. Protocols, -Hierarchy-Based Incremental Analysis, || pp. 318–325, 1993.
- [11] J. Guillermo and C. Guizar, -Boletín IIE, || pp. 108–114, 2004.
- [12] R. P. Behnke, -Sistema de Monitoreo de Mercado Aplicación al Sector Electrico, || pp. 1–15.
- [13] -Regulación No. CONELEC-005/08 Página 1 de 35, || pp. 1–35.
- [14] C. Shannon and W. Weaver, -The mathematical theory of communication, || 2002.
- [15] J. Fiske, *Introduction To Communication Studies, Second edition*. .
- [16] -(Modern Birkhäuser Classics) Gerald Kaiser-A friendly guide to wavelets-Birkhäuser (2011).pdf. || .

- [17] B. E. Program and R. De Janeiro, -ECG Data Compression Using Wavelets, pp. 423–426, 2000.
- [18] U. S. O. D. E. L. O. S. Wavelets, P. Identificar, C. D. E. U. N. Proceso, O. N. Use, O. F. Wavelets, F. O. R. Identify, and P. Performance, -Uso de los wavelets para identificar el comportamiento de un proceso on use of wavelets for identify process performance, vol. 5, pp. 183–187, 2006.
- [19] C. H. Kim and R. Aggarwal, -Wavelet transforms in power systems — Part 1, General introduction to the wavelet transforms, *Power Eng. J.*, pp. 81–87, 2000.
- [20] S. Kouro, R. Rodrigo, and a A. De Fourier, -Tutorial introductorio a la Teoría de Wavelet, pp. 1–8, 2002.
- [21] R. Shariatinasab, M. Akbari, and B. Rahmani, -Application of Wavelet Analysis in Power Systems, 1984.
- [22] A. Boggess, in *Wavelets With* .
- [23] -Wojtaszczyk - A mathematical introduction to wavelets (1997).pdf. .
- [24] Stephane Mallat, *A Wavelet tour of signal processing* .
- [25] J. Cepeda, P. Verdugo, and G. Argüello, -Monitoreo de la Estabilidad de Voltaje de Corredores de Transmisión en Tiempo Real a partir de Mediciones Sincrofasoriales, vol. 33, no. 3, 2014.
- [26] P. Issn, -Caracterización mediante wavelets de electrocardiogramas para efectos de compresión y clasificación de cardiopatías, *Scientia*, no. 32, pp. 155–158, 2006.
- [27] V. F. M. R. Y. R. H., -Wavelets con Aplicación a Compresión de Datos, *Concienc. Tecnológica*, vol. 36, pp. 35–41, 2008.
- [28] R. Arturo and T. Codorníu, -Compresión , basada en Wavelets , de modelos digitales de elevaciones Wavelet-based Compression for Digital Elevation Models, pp. 27–48, 2012.
- [29] H. He, S. Cheng, Y. Zhang, and J. Nguimbis, -Analysis of Reflection of Signal Transmitted in Low-Voltage Powerline with Complex Wavelet, *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 19, no. 1, pp. 86–91, 2004.
- [30] Z. Nesic, M. Davies, and G. Dumont, -Paper machine data compression using wavelets, *Proceeding 1996 IEEE Int. Conf. Control Appl. IEEE Int. Conf. Control Appl. held together with IEEE Int. Symp. Intell. Contro*, pp. 161–166, 1996.
- [31] MathWorks, *MATLAB Primer R 2014 a*. 2014.

- [32] -MANUAL DE INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB Parte I Autor: Diego Orlando Barragán Guerrero. ||
- [33] H. Moore, -Para Ingenieros. ||
- [34] M. P. Tcheou, L. Lovisolo, M. V. Ribeiro, E. a B. Da Silva, M. a M. Rodrigues, J. M. T. Romano, and P. S. R. Diniz, -The compression of electric signal waveforms for smart grids: State of the art and future trends, || *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 1, pp. 291–302, 2014.
- [35] H. Olkkonen, *DISCRETE WAVELET TRANSFORMS : ALGORITHMS AND Edited by Hannu Olkkonen*. 2011, p. 308.
- [36] O. Rioul and M. Vetterli, *Wavelets and signal processing*, vol. 8. 1991, pp. 14–38.
- [37] -William Stallings-Comunicaciones y Redes de Computadores, Sexta Edicion-Prentice Hall (2001).pdf. || .
- [38] J. E. Briceño Márquez, -Transmisión de Datos, || p. 563, 2005.